



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ **Offenlegungsschrift**

⑯ **DE 199 53 160 A 1**

⑯ Int. Cl. 7:

H 01 L 33/00

⑯ **Unionspriorität:**

196928 20. 11. 1998 US

⑯ **Anmelder:**

Hewlett-Packard Co., Palo Alto, Calif., US

⑯ **Vertreter:**

Schoppe, Zimmermann & Stöckeler, 81479
München

⑯ **Aktenzeichen:** 199 53 160.9

⑯ **Anmeldetag:** 4. 11. 1999

⑯ **Offenlegungstag:** 31. 5. 2000

⑯ **Erfinder:**

Steigerwald, Daniel A., Cupertino, Calif., US; Rudaz, Serge L., Sunnyvale, Calif., US; Thomas, Kyle J., Sunnyvale, Calif., US; Lester, Steven D., Palo Alto, Calif., US; Martin, Paul S., Pleasanton, Calif., US; Imler, William R., Oakland, Calif., US; Fletcher, Robert M., San Jose, Calif., US; Kish jun., Fred A., San Jose, Calif., US; Maranowski, Steven A., San Jose, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ **Verbesserte Elektrodenstrukturen für lichtemittierende Bauelemente**

⑯ Ein lichtemittierendes Bauelement besitzt einen Heteroübergang mit einer p-Typ-Schicht und einer n-Typ-Schicht. Eine n-Elektrode ist elektrisch mit der n-Typ-Schicht verbunden, während eine p-Elektrode elektrisch mit der p-Typ-Schicht verbunden ist. Die p- und die n-Elektrode sind positioniert, um eine Region mit einer gleichmäßigen Lichtintensität zu bilden.

DE 199 53 160 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 199 53 160 A 1

Beschreibung

Die Erfindung ist auf das Gebiet von lichtemittierenden Bauelementen gerichtet, und spezieller auf die Verbesserung der Gleichmäßigkeit einer Lichtemission und des Flächenwirkungsgrads dieser Bauelemente.

Die kommerziell erhältlichen, lichtemittierenden AlInGaN-Bauelemente (LEDs) mit dem besten Verhalten sind auf ein isolierendes Substrat, beispielsweise aus Saphir, aufgewachsen. Elektroden und Verbindungsanschlußflächen derselben sind üblicherweise auf der Oberseite der AlInGaN-Halbleiterschichten des Bauelements platziert.

Während des Betriebs wird Strom durch externe Anschlüsse, die durch Drahtbunden (Kugel oder Keil), Löten oder Befestigen mit einem leitfähigen Haftmittel mit den Verbindungsanschlußflächen verbunden sind, in die LED injiziert. Die p- und n-Elektroden injizieren und verteilen den Strom in die jeweiligen Halbleiterschichten. Licht wird erzeugt, wenn Strom in der Vorwärtsrichtung über den p-n-Übergang fließt, was die Rekombination von Minoritätsträgern an dem p-n-Übergang bewirkt. Die Intensität, I , des Lichts, das unter typischen Betriebsbedingungen von dem Bauelement emittiert wird, ist proportional zu der Stromdichte J des Stroms pro Einheitsfläche. Je größer die Fläche des p-n-Übergangs für eine gegebene Stromdichte J ist, desto größer ist die Intensität I , die durch die LED erzeugt wird.

Die p-Typ-Halbleiterschichten in dem AlInGaN-Materialsystem sind widerstandsbehafteter als die n-Typ-Halbleiterschichten. Folglich verteilt sich der Strom, der an der p-Elektrode injiziert wird, nicht lateral in dem p-Typ-Halbleiter und verteilt sich nicht lateral von der p-Elektrode weg. Der Strom fließt von der p-Elektrode entlang des kürzesten Wegs (d. h. üblicherweise vertikal) über den p-n-Übergang zu den n-Typ-Halbleiterschichten. Der Strom verteilt sich dann lateral in den n-Typ-Halbleiterschichten, um die n-Elektrode zu erreichen.

Um den Bereich einer optischen Emission zu maximieren, muß der Strom über einen größtmöglichen Bereich des p-n-Übergangs fließen. Folglich muß der Strom über einen größtmöglichen Bruchteil der p-Typ-Oberfläche lateral verteilt werden. Die laterale Stromverteilung kann verbessert werden, indem ein Großteil der p-Typ-Oberfläche mit der p-Elektrode bedeckt wird. Die p-Elektrode wird dann vollständig oder teilweise mit einer Verbindungsanschlußfläche bedeckt.

Verbindungsanschlußflächen sind leitfähig, um ihre elektrische Funktionalität zu liefern, und müssen dick sein, um ihre mechanische Funktionalität zu erfüllen. Folglich bestehen Verbindungsanschlußflächen üblicherweise aus Metall. Metallverbindungsanschlußflächen der erforderlichen Dicke sind lichtdurchlässig. Verbindungsanschlußflächen, die aus transparenten, leitfähigen Oxiden bestehen, beispielsweise ITO (Indiumzinnoxid) wurden ebenfalls verwendet, sind jedoch nicht üblich.

Ein großer Bruchteil der kommerziell erhältlichen AlInGaN-LEDs extrahieren das erzeugte Licht in dem Bauelement durch die p-Schicht. Diese Bauelemente besitzen eine Verbund-p-Elektrode, beispielsweise ein dünnes, semitransparentes Material für eine Stromverteilung, das den größten Teil der p-Oberfläche abdeckt, und eine dicke, lichtdurchlässige Verbindungsanschlußfläche, die so wenig wie möglich von der dünnen p-Elektrode abdeckt, während sie noch zuverlässige Verbindungen für die kommerzielle Herstellung liefert. Eine n-Elektrode ist ebenfalls klein gemacht, um den p-Typ-Oberflächenbereich zu maximieren. Ein großer Bruchteil der optischen Emission, die an dem p-n-Übergang erzeugt wird, entkommt durch den Abschnitt

der semitransparenten p-Elektrode, der nicht durch die Verbindungsanschlußfläche blockiert ist, von dem Bauelement.

In dem U.S.-Patent 5,563,422 wird gelehrt, daß die n- und p-Verbindungsanschlußflächen diametrisch gegenüberliegend sein sollen, oder an den Ecken des Bauelements angeordnet sein sollen, wie in Fig. 1 gezeigt ist. Der Strom, der von dem Bereich der p-Elektrode: nächstliegend zu der p-Verbindungsanschlußfläche vertikal zu der n-Schicht hinunterfließt, muß eine große horizontale Strecke in der n-Typ-Halbleiterschicht überqueren, um die n-Elektrode zu erreichen, sobald derselbe den p-n-Übergang vertikal passiert hat. Andererseits muß der Strom, der von dem Bereich der p-Elektrode nächstliegend zu der n-Verbindungsanschlußfläche vertikal zu der n-Schicht hinunterfließt, eine kleine horizontale Strecke in der n-Typ-Halbleiterschicht überqueren, um die n-Elektrode zu erreichen. Die größere Strecke addiert einen signifikanten Betrag eines Serienwiderstands in der n-Typ-Schicht zu dem erstgenannten Stromwgc, was eine Stromansammlung an dem Rand der dünnen p-Elektrode um den n-Kontakt zur Folge hat. Der direkteste Stromweg zwischen den zwei Verbindungsanschlußflächen ist stark gegenüber allen anderen Wegen (beispielsweise denen, die den Rändern des Bauelements folgen) favorisiert, was bewirkt, daß sich der Strom zwischen den Verbindungsanschlußflächen sammelt. Die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte nimmt aufgrund des zunehmenden resistiven Spannungsabfalls in der n-Typ-Halbleiterschicht zu, wenn die mittlere Stromdichte zunimmt. Diese Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte bewirkt eine entsprechende Nichtgleichmäßigkeit der Lichtintensität, wie in Fig. 2 gezeigt ist. Der Grad der Stromdichte-Nichtgleichmäßigkeit ist durch ein Verhältnis r der maximalen lokalen Stromdichte J_{max} zu der mittleren Stromdichte J_{ave} gezeigt. Um dieses Verhältnis r abzuschätzen, kann man das Verhältnis R der maximalen lokalen Lichtintensität I_{max} zu der mittleren Lichtintensität I_{ave} messen, da die Intensität in erster Näherung proportional zu der Stromdichte ist. Solche Messungen werden üblicherweise unter Verwendung einer optischen Vorrichtung durchgeführt, wobei die vorgespannte LED bei Nahfeldbedingungen abgebildet wird. Wie aus Fig. 2 zu sehen ist, ist das Verhältnis R sehr hoch.

Die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte führt zu einer Reduzierung des optischen und elektrischen Verhaltens der LED, speziell für Bedingungen einer hohen mittleren Stromdichte und für LEDs, die mit größeren Abmessungen hergestellt sind. AlInGaN-LEDs zeigen aufgrund des Mechanismus der Lichtemission typischerweise einen abnehmenden Wirkungsgrad der Lichtemission, wenn die mittlere Stromdichte zunimmt. Daher hat die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte Regionen zur Folge, die mit einem geringeren optischen Gesamtwirkungsgrad betrieben werden. Da die irreversible Verschlechterung des Wirkungsgrads der Lichtemission mit einer zunehmenden Stromdichte zunimmt, erhöht die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte überdies die Gesamtverschlechterungsraten, was bei kommerziellen LEDs, die sich hinsichtlich ihrer kommerziellen Wichtigkeit auf geringe Verschlechterungsraten stützen, ein signifikanter Belang ist.

Ein zusätzlicher Nachteil des Stands der Technik besteht darin, daß die Elektrodenkonfigurationen die Substratfläche ineffizient als lichtemittierendes Material nutzen. Je größer die Fläche des p-n-Übergangs für eine gegebene mittlere Stromdichte J ist, desto größer ist die mittlere Lichtintensität I , die durch die LED erzeugt wird.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein lichtemittierendes Bauelement mit einer gleichmäßigen Lichtemission und einem guten Flächenwirkungsgrad zu schaffen. Diese Aufgabe wird durch ein lichtemittierendes

Bauelement gemäß Anspruch 1 gelöst.

Ein lichtemittierendes Bauelement mit einer verbesserten Elektrodenstruktur weist eine aktive Region auf. Die aktive Region, beispielsweise ein Heteroübergang, besitzt eine p-Typ-Schicht und eine n-Typ-Schicht. Eine n-Elektrode ist mit der n-Typ-Schicht elektrisch verbunden, während eine p-Elektrode mit der p-Typ-Schicht elektrisch verbunden ist. Die p- und die n-Elektrode sind geformt und positioniert, um eine gleichmäßige Stromdichte während des Betriebs zu liefern, und um den Bruchteil der Bauelementfläche zu optimieren, der für eine Lichtemission benutzt wird. Eine gleichmäßige Stromdichte wird erreicht, wenn das Verhältnis der maximalen lokalen Stromdichte J_{max} zu der mittleren Stromdichte J_{ave} kleiner als 3 ist, vorzugsweise kleiner als 1,5 bis 2. Die gleichmäßige Stromdichte wird durch das Verhältnis der maximalen lokalen Intensität I_{max} zu der mittleren Intensität I_{ave} über die lichtemittierende Region gemessen.

Verbesserte Elektrodenstrukturen werden erreicht, indem drei Parameter einzeln oder in Kombination geändert werden. Die Faktoren sind die Form des Bauelements, die Form der Elektroden und die Position der Elektroden. Das Bauelement kann eine Kugel, eine Halbkugel oder ein massives Prisma sein, das die Querschnittsfläche eines Polygons, eines Kreises, einer Ellipse oder eines ovalen Körpers besitzt. Jede Elektrode kann als ein Polygon oder als eine runde Form, beispielsweise als ein Kreis, geformt sein. Alternativ kann zumindest eine der zwei Elektroden segmentiert sein, um mehrere Regionen einer gleichmäßigen Stromdichte zu erzeugen. Der mittlere Abstand zwischen den Elektroden ist vorzugsweise geringer als die Länge der n- und der p-Elektrode.

Die verbesserte Elektrodenstruktur hat ein verbessertes "Flächenausnutzungsverhältnis" Λ zur Folge. Λ ist als das Flächenverhältnis des lichtemittierenden p-n-Übergangs zu der Gesamtfläche des Bauelements, A_{tot} , definiert. Die verbesserte Elektrodenstruktur kann daher eine höhere mittlere Intensität I_{ave} über die lichtemittierende Region für eine gegebene mittlere Stromdichte J_{ave} und eine gegebene Bauelement-Querschnittsfläche ergeben.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezüglich auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine lichtemittierende Diode (LED) gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 2 ein optisches Nahfeld-Photomikrobild der LED in Fig. 1, die mit 50 mA vorwärts vorgespannt ist;

Fig. 3 eine LED gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4A und 4B alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5A und 5B Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit Verbindungsanschlußflächen, die für ein Drahtboden optimiert sind;

Fig. 6A und 6B optische Nahfeld-Photomikrbilder der LEDs in den Fig. 5A und 5B, die mit 50 mA vorwärts vorgespannt sind;

Fig. 7 einen Vergleich der I-V-Kurven für LEDs, die in den Fig. 1 und 5A und 5B gezeigt sind;

Fig. 8A bis 8H alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer äußeren Elektrode;

Fig. 10 eine schematische Darstellung des Stromflusses bei der LED in Fig. 9;

Fig. 11 einen Vergleich der I-V-Kurven für die LEDs, die in den Fig. 1 und 9 gezeigt sind;

Fig. 12A und 12B optische Nahfeld-Photomikrbilder der LED in Fig. 9, die mit 50 mA bzw. 200 mA vorwärts

vorgespannt ist;

Fig. 13 ein alternatives Ausführungsbeispiel mit interdigitalen äußeren und inneren Elektroden;

Fig. 14 ein schematisches Diagramm des Stromflusses bei der Erfindung gemäß Fig. 13;

Fig. 15 die I-V-Kurven für die LED, die in Fig. 13 gezeigt ist;

Fig. 16 ein optisches Nahfeld-Photomikrobild eines Abschnitts der LED in Fig. 13, die mit 500 mA vorwärts vorgespannt ist;

Fig. 17A und 17B alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 18 ein alternatives Ausführungsbeispiel mit einer äußeren Elektrode, die die lichtemittierende Region vollständig einschließt;

Fig. 19 einen Vergleich der I-V-Kurven für die LEDs, die in den Fig. 1 und 18 gezeigt sind;

Fig. 20 einen Vergleich der optischen P-I-Kurve für die LEDs, die in den Fig. 1 und 18 gezeigt sind;

Fig. 21A bis 21C alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 22A und 22B alternative Ausführungsbeispiele mit einer segmentierten äußeren Elektrode; und

Fig. 23A bis 23D Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung, bei denen mehrere isolierte LEDs enthalten und in verschiedenen Serien- und Parallel-Verfahren verbunden sind.

Bei der vorliegenden Erfindung ist das "Flächenausnutzungsverhältnis" einer Oberfläche (Oberseite oder Rückseite) eines lichtemittierenden Bauelements (LED) als das Verhältnis Λ des p-n-Übergangs der lichtemittierenden Region zu der Gesamtfläche des Substrats definiert. Für eine gegebene mittlere Stromdichte und für einen gegebenen Wert einer Substratfläche nimmt die Intensität von emittiertem Licht proportional zu dem Verhältnis Λ zu. Da die Herstellungskosten stark proportional zu der Substratfläche der LED sind, ist es vorteilhaft, das Flächenausnutzungsverhältnis Λ zu maximieren. Kommerziell erhältliche LEDs aus Nicht-AlInGaN-Materialsystemen (mit üblicherweise nur einer Verbindungsanschlußfläche pro Oberfläche) besitzen typische Werte des Flächenausnutzungsverhältnisses $\Lambda = -1.0$. Bekannte AlInGaN-LEDs, mit beispielsweise beiden Verbindungsanschlußflächen auf der gleichen Oberfläche, besitzen Flächenausnutzungsverhältniswerte Λ in einem

30 Bereich von 0,25 bis 0,50. Herstellungsbeschränkungen diktieren die Größe der Verbindungsanschlußflächen, beispielsweise $\sim 0,075 \times 10^{-3}$ bis $0,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$. Je größer A_{tot} für eine gegebene Anzahl von Verbindungsanschlußflächen auf einer Oberfläche ist, desto größer ist das entsprechende Λ .

40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 85

Regionen einer gleichmäßigen Stromdichte zu erzeugen. Der mittlere Abstand zwischen den Elektroden ist vorzugsweise geringer als die Länge der n- und der p-Elektrode.

Um die Grundsätze im Betrieb zu zeigen, besitzt ein p-Typ-Halbleitermaterial einen gleichmäßigen spezifischen Widerstand p , eine Breite W , eine Länge L und eine Dicke t . Der Schichtwiderstand R_{\square} ist als p/t definiert. Strom wird von den zwei rechteckigen Elektroden in das Material injiziert. Die Elektroden besitzen eine Breite w und eine Länge l . Dieselben sind durch eine Breite s getrennt, wobei gilt: $s \leq (L - 2l)$. Der Stromfluß ist gleichmäßig. Eine ähnliche Flußgleichmäßigkeit kann mit komplexeren Formen erreicht werden, vorausgesetzt, daß der kürzeste Abstand s von jedem Punkt entlang der inneren Kontur jeder Elektrode konstant gehalten ist. Es kann gezeigt werden, daß der Widerstand R für den Stromfluß zwischen den zwei Elektroden wie folgt lautet:

$$R = R_{\square} \frac{s}{w} \quad (1).$$

In Gleichung 1 hängt der Gesamtwiderstand R von dem Schichtwiderstand R_{\square} und der Geometrie (s, w) der Elektroden ab. Der Gesamtwiderstand R ist minimiert, wenn der Abstand s minimiert ist, während die Breite w maximiert ist. Die Elektronen müssen eine geringere Strecke in dem n-Typ-Halbleiter horizontal überqueren, bevor sie mit Löchern, die von dem p-Kontakt injiziert werden, rekombinieren. Die vorliegende Erfindung reduziert die mittlere Strecke, die Ladungsträger überqueren, und macht diese Strecke entlang der gesamten Elektroden gleich. Das Reduzieren dieser Strecke verringert den Serienwiderstand des Bauelements und verbessert die elektrischen Gesamtcharakteristika, während die lokale Stromdichte gleichmäßig gemacht wird, indem diese Strecke näherungsweise konstant gehalten wird. Die Elektroden sollten so nahe wie möglich beieinander angeordnet sein. Es ist bevorzugt, daß diese Elektroden einen großen Bruchteil der Kanten des Bauelements bedecken sollten, und daß der Abstand zwischen denselben so gleichmäßig wie möglich sein sollte, um den Strom gleichmäßig zu verteilen, wobei die zugeordneten Vorteile des elektrischen Verhaltens, der Lichtemission und des Zuverlässigkeitverhaltens, die nachfolgend erklärt werden, auftreten.

Die Elektroden sind die leitfähigen Schichten, die mit dem Halbleitermaterial elektrisch verbunden sind. Eine einfache Elektrode ist im Betrieb eine Äquipotentialoberfläche, deren Spannung beispielsweise an jedem Punkt der Oberfläche gleich ist. Einige Bauelemente erfordern eine Verbundelektrode. Die Verbundelektrode kann eine zusätzliche, sehr dünne, beispielsweise $\leq 0,2 \mu\text{m}$, semitransparente, leitfähige Schicht aufweisen (die typischerweise mit einer p-dotierten Schicht mit hohem spezifischen Widerstand und einer dickeren Elektrode oder einer p-Verbindungsanschlußfläche elektrisch verbunden ist), um den Strom zu verteilen und das Licht zu extrahieren. Die dünne Schicht ist ebenfalls eine Elektrode, ist jedoch häufig keine Äquipotentialoberfläche, besitzt beispielsweise einen hohen spezifischen Widerstand und bewirkt signifikante Spannungsdifferenzen zwischen bestimmten Punkten auf ihrer Oberfläche.

Fig. 3 zeigt eine LED der vorliegenden Erfindung. Die LED 10 umfaßt eine aktive Region 12 auf einem optionalen Substrat (nicht gezeigt). Die aktive Region 12, beispielsweise ein Heteroübergang, besitzt eine p-Typ- und eine n-Typ-Halbleiterschicht 12a, 12b. Eine p- und eine n-Elektrode 14a, 14b sind mit der entsprechenden Halbleiterschicht elektrisch verbunden. Die p- und die n-Elektrode 14a, 14b sind geformt und positioniert, um während des Betriebs eine gleichmäßige Stromdichte zu liefern. Fettige

druckte Linien stellen die inneren Konturen der zwei Elektroden heraus. Die Bauelementstruktur enthält das optionale Substrat, die aktive Region und die Elektroden. Eine gleichmäßige Stromdichte wird erreicht, wenn das Verhältnis der maximalen lokalen Intensität I_{\max} zu der mittleren Intensität I_{ave} geringer als 3 und vorzugsweise geringer als 1,5 bis 2 ist.

Für einfache Elektroden ist es bevorzugt, daß der kürzeste Abstand zwischen den inneren Konturen der Elektroden an jedem Punkt innerhalb von $+35\%$ und $+150\%$ des mittleren Abstands zwischen den inneren Konturen der Elektroden ist. Für Verbundelektroden ist es bevorzugt, daß der kürzeste Abstand zwischen den inneren Konturen der Verbindungsanschlußflächen an jedem Punkt innerhalb von $\pm 35\%$ des mittleren Abstands zwischen den inneren Konturen der Verbindungsanschlußflächen ist, und daß der kürzeste Abstand zwischen den Elektroden an jedem Punkt innerhalb von $+35\%$ und $+150\%$ des mittleren Abstands zwischen den Elektroden ist.

20 Diese vorteilhaften Merkmale wurden wie folgt abgeleitet. Das durchschnittliche menschliche Auge kann ohne weitere Unterschiede der Intensität des sichtbaren Lichts wahrnehmen, wenn sich die Intensität über einen Faktor von 3 ändert, unter der Annahme, daß die Intensität die optischen Rezeptoren nicht sättigt. Ein selektives Auge kann Unterschiede über einen Faktor von 2 wahrnehmen. Wenn der Faktor unter 1,5 liegt, können menschliche Augen Intensitätsunterschiede nicht wahrnehmen. Fig. 2 (Stand der Technik) zeigt einen Fall, bei dem ein Lichtgleichmäßigkeit-Intensitätsverhältnis über 3 liegt, während nachfolgende Figuren Fälle mit einem Lichtgleichmäßigkeit-Intensitätsverhältnis unter 3 und in den meisten Fällen unter 1,5 zeigen.

Bei den Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung, die in den Fig. 3 bis 8E gezeigt sind, beträgt die minimale Länge der Elektroden 75% der Länge der Bauelementseiten, auf denen dieselben angeordnet sind. Die maximale Abweichung des Abstands zwischen den inneren Konturen der Verbindungsanschlußflächen beträgt $\pm 35\%$. Die maximale Abweichung von dem mittleren Abstand s zwischen den inneren Konturen der p- und der n-Elektrode beträgt $\pm 20\%$. Folglich zeigte keines der Bauelemente, die entsprechend einer Teilmenge der Ausführungsbeispiele, die in den Fig. 3 bis 8H gezeigt sind, hergestellt wurden, Lichtintensitätsverhältnisse über 2 für eine mittlere Stromdichte von 50 A/cm^2 .

Die Fig. 4A und 4B zeigen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung. Das Bauelement ist ein massives Prisma mit einer Querschnittsfläche, die ein Polygon ist. Die p- und die n-Elektrode besitzen eine Länge, die zumindest 65% der Länge von zumindest zwei Seiten des Polygons beträgt. Im Fall eines ovalförmigen Bauelements besitzt zumindest eine der zwei Elektroden eine Länge, die $\geq 25\%$ der Länge der peripheren Länge des Bauelements ist. Die Elektroden können entweder einfache Elektroden oder Verbundelektroden sein. Die inneren Ränder der Elektroden sind vorzugsweise parallel zueinander. Es ist bevorzugt, daß das Polygon ein Quadrat, ein Hexagon, ein Oktagon, ein Rechteck oder ein Parallelogramm ist.

60 Das vorteilhafte Merkmal von 65% wurde ausgewählt, um sicherzustellen, daß zumindest ein Drittel der Querschnittsfläche des gesamten Bauelements einen gleichmäßigen Stromfluß aufweisen wird, wodurch im schlechtesten Fall ein Lichtintensitätsverhältnis < 3 garantiert ist. Das vorteilhafte Merkmal von $\pm 35\%$ für Abweichungen von dem mittleren Abstand zwischen den Verbindungsanschlußflächen von Verbundelektroden wurde aus ähnlichen Gründen ausgewählt.

Die Fig. 5A und 5B zeigen alternative Ausführungsbeispiele, die eine Verbundelektrode aufweisen. Die Verbindungsanschlußfläche der Verbundelektrode ist für ein Drahtboden, beispielsweise ein Kugelboden oder ein Keilboden, für ein Löten oder für eine Befestigung mit einem leitfähigen Medium geeignet. Die Elektroden sind von dem Verbindungsanschlußflächenbereich weg verjüngt, um die Größe des Lichtemissionsbereichs zwischen den Verbindungsanschlußflächen zu erhöhen. Bei dem Ausführungsbeispiel, das in Fig. 5B gezeigt ist, ist die Länge der inneren Ränder der Elektroden größer als der mittlere Abstand zwischen den Elektroden. Diese Konfiguration verringert den elektrischen Widerstand des Bauelements.

Die Fig. 6A und 6B zeigen optische Nahfeld-Photomikrobilder der LEDs, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, wenn dieselben mit einem Strom von 50 mA vorwärts vorgespannt sind. Es existiert eine gleichmäßige Intensität über der lichtemittierenden Region des Bauelements. Im Unterschied zu Fig. 2 ist keine Stromansammlung in der Nähe des Zwischenraums zwischen den zwei Elektroden zu sehen, wobei keine Unterschiede der Lichtintensität in dem Bereich, der durch die dünne Elektrode bedeckt ist, zu sehen ist.

Fig. 7 vergleicht die I-V-Kurven für die LEDs, die in den Fig. 1 und 5A und 5B gezeigt sind. Fig. 1 entspricht der "herkömmlichen LED". Fig. 5A entspricht "Ausführungsbeispiel #1" während Fig. 5B "Ausführungsbeispiel #2" entspricht. Zwei AlInGaN-Wafer wurden in Hälften geteilt. Ein Satz von Hälften wurde mit Bauelementen entsprechend Fig. 1 hergestellt, während der andere Satz entsprechend den Bauelementen, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, hergestellt wurde. Jedes der Bauelemente besitzt die gleiche Gesamtquerschnittsfläche, beispielsweise $1,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$. Typische I-V-Kurven sind für Bauelemente gezeigt, die so nahe wie möglich beieinander auf beiden Seiten der Waferunterteilung ausgewählt sind. Die y-Achse zeigt den Treiberstrom I_f , während die x-Achse die Treiberspannung V_f zeigt. Die Neigung der Kurven bei hohen Strömen ist näherungsweise umgekehrt proportional zu dem Serienwiderstand des Bauelements. Fig. 7 zeigt die Reduzierung des Serienwiderstands von AlInGaN-LEDs gemäß den Fig. 5A und 5B. Diese Bauelemente besitzen einen um ~10% ($R_S = 19,9 \Omega$ für "Ausführungsbeispiel #1" bis 20% ($R_S = 17,3 \Omega$ für "Ausführungsbeispiel #2") geringeren Serienwiderstand als der herkömmliche Chip ($R_S = 21,3 \Omega$), wobei alle anderen Aufwachs- und Herstellungs-Parameter gleich sind. Diese Verbesserung des Serienwiderstands ist eine Vergrößerung von 0,2 bis 0,3 V der Betriebsspannung für einen Treiberstrom von 50 mA, was mittlere Spannungen bei diesem Strom für Bauelemente gemäß den Fig. 5A und 5B ergibt, die vergleichbar mit der mittleren Spannung eines bekannten Bauelements von Fig. 1, das bei 20 mA betrieben wird, ist. Das bessere elektrische Verhalten des "Ausführungsbeispiels #2" wird erwartet, da die Trennung zwischen Elektroden viel kleiner ist als die Länge derselben. Bei hohen Treiberströmen ist die Verbesserung der Treiberspannung aufgrund des kleineren R_S sogar drastischer. Bei geringeren Treiberströmen ist der Einfluß von R_S reduziert, wobei Verbesserungen von V_f aufgrund der Verbesserungen der lokalen Stromdichtegleichmäßigkeit jedoch noch zu sehen sind. Eine Vorwärtsspannung von 3,25 V wurde bei einem Treiberstrom von 20 mA für Bauelemente der Fig. 5A und 5B gemessen, während für ein Bauelement der Fig. 1 3,4 V gemessen wurden.

Bei einem weiteren Satz von ähnlichen Experimenten, die mit AlInGaN-Material, das zu einem späteren Zeitpunkt aufgewachsen wurde, durchgeführt wurden, wurde ein ähnlicher Satz von Daten und Schlüssefolgerungen erhalten. Mit-

telwerte von 3,05, 2,85 und 3,35 V wurden bei einem Vorwärtstreiberstrom von 20 mA für die Bauelemente, die in den Fig. 5A, 5B bzw. 1 gezeigt sind, erhalten. Mittelwerte von 3,65, 3,35 und 4,15 V wurden bei einem Vorwärtstreiberstrom von 50 mA für die Bauelemente, die in den Fig. 5A, 5B bzw. 1 gezeigt sind, erhalten.

Das "Flächenausnutzungsverhältnis" wird für das Bauelement in Fig. 5A ($A_{tot} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$) als 60% berechnet, eine Verbesserung gegenüber Bauelementen, die mit einer Geometrie, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, hergestellt sind, welche typischerweise für einen gleichartigen Wert von A_{tot} ein Verhältnis von zwischen 25 und 50% zeigt. Die Bauelemente, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, sind mit herkömmlichen Halbleiterherstellungstechniken, die mit einer Massenherstellung konsistent sind, hergestellt. Das Flächenausnutzungsverhältnis A kann verbessert werden, indem verjüngte Arme mit einer kleineren Breite definiert werden, indem die Fläche der Verbindungsanschlußflächen geschrumpft wird, und indem strengere Toleranzen verwendet werden. Obwohl die Ausführungsbeispiele, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, als ein drahtgebondetes Bauelement dargestellt sind, können die Bauelemente in einer Flip-Chip-Konfiguration hergestellt sein.

Die Fig. 8A bis 8H zeigen alternative Ausführungsbeispiele der Erfindung. Die Elektroden können einfache Elektroden oder Verbundelektroden sein. Für jedes Ausführungsbeispiel steuert die Querschnittsfläche des Bauelements die Stromdichte. In Fig. 8A ist die Querschnittsfläche ein Parallelogramm. In Fig. 8B ist die Querschnittsfläche abgerundet, beispielsweise elliptisch, kreisförmig oder sphärisch. In Fig. 8C ist die Querschnittsfläche hexagonal. In Fig. 8D ist die Querschnittsfläche ein unregelmäßiges Polygon. In Fig. 8E ist die Querschnittsfläche ein Parallelogramm mit verjüngten Verbindungsanschlußflächen. Für die Fig. 8A bis 8E sind die inneren Konturen der Elektroden parallel zueinander, jedoch nicht notwendigerweise parallel zu den Seiten der Querschnittsfläche des Bauelements.

In Fig. 8F ist die Querschnittsfläche hexagonal und weist zumindest eine Verbundelektrode auf. Die Verbindungsanschlußfläche der Verbundelektrode befindet sich in der Nähe der Ecke des Hexagons. Fig. 8G zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel für das Bauelement, das in Fig. 8F gezeigt ist. Die Querschnittsfläche ist ein Polygon mit sieben oder mehr Seiten, oder optional elliptisch oder kreisförmig. Fig. 8H zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel für das Bauelement, das in Fig. 8F gezeigt ist. Die Querschnittsfläche ist ein Polygon mit fünf oder weniger Seiten. In den Fig. 8F bis 8H sind die inneren Elektroden nahezu parallel zueinander, sind jedoch nicht parallel zu den Seiten der Querschnittsfläche.

Die Fig. 3 bis 8 zeigen Ausführungsbeispiele, die Stromdichte-Gleichmäßigkeitsverhältnisse und zugeordnete Lichtintensitäts-Gleichmäßigkeitsverhältnisse ≤ 2 erzeugen, ebenso wie Flächenausnutzungsverhältnisse $\leq 50\%$, für Gesamtquerschnittsflächen von weniger als $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$. Wenn die Querschnittsfläche $\geq 1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$, ergeben die nachfolgend offenbarten Ausführungsbeispiele sogar noch geringere Gleichmäßigkeitsverhältnisse und sogar noch höhere Flächenausnutzungsverhältnisse.

Fig. 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einem Substrat mit einem rechteckigen Querschnitt und Abmessungen von $0,3 \times 0,4 \text{ mm}^2$, einschließlich einer Verbundelektrode, die mit der n-Typ-Halbleiterschicht verbunden ist, die drei Seiten des Umfangs des Substrats umschließt, mit einer verbundenen Verbindungsanschlußfläche. Diese n-Elektrode ist eine äußere oder Einschlußelektrode, die zwei äußere und N innere Arme aufweist, wobei $N \geq 0$, sowie einen Quer balken, der die zwei äußeren und die N inneren Arme verbin-

det. Der Vorsprung der äußeren Arme umhüllt zumindest 75%, vorzugsweise 100%, der lichtemittierenden Region. Eine zweite Verbundelektrode ist mit den p-Typ-Halbleiterschichten verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region zu verteilen, und einer Verbindungsanschlußfläche. Die Verbindungsanschlußflächen können bei diesem Ausführungsbeispiel mit einem Durchmesser von näherungsweise 0,1 mm drahtgebondet sein. Die lichtemittierende Region ist vollständig in den Vorsprung der äußeren Arme eingeschlossen.

Die äußere Einschlußelektrode verbessert die Gleichmäßigkeit der Stromdichte und verringert den Serienwiderstand des Bauelements. Fig. 10 zeigt eine Querschnittsansicht der LED von Fig. 9. Die Arme der äußeren Elektrode liefern zwei separate Wege für den Stromfluß, um die Stromgleichmäßigkeit durch ein effektives Reduzieren der mittleren Stromdichte zu verbessern. Zusätzlich führt die mittlere Strecke, die der Strom in der n-Typ-Halbleiterschicht lateral überqueren muß, zu einer Reduzierung des Serienwiderstands in dem lichtemittierenden Bauelement. Fig. 11 vergleicht die I-V-Kurven des Bauelements, das in Fig. 9 gezeigt ist, mit dem bekannten Bauelement, das in Fig. 1 gezeigt ist. Das Bauelement von Fig. 9 zeigt eine reduzierte Betriebsspannung, die als die Spannung definiert ist, die erforderlich ist, um 20 mA in einer Vorwärtsrichtung durch das Bauelement zu injizieren, und einen wesentlich reduzierten Serienwiderstand, wie durch die Neigung der I-V-Beziehung gezeigt wird. Werte der Vorwärtsspannung und des Serienwiderstands sind 2,86 V und 9,6 Ω für das Bauelement von Fig. 9 und 3,19 V und 21,6 Ω für Bauelemente, die gemäß Fig. 1 hergestellt sind. Die Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Stromdichte ist aus den Fig. 12A und 12B erkennbar, die optische Nahfeld-Photomikrobilder von LEDs nach Fig. 9 zeigen, wenn dieselben mit 50 mA bzw. 200 mA vorwärts vorgespannt sind. Diese Figuren zeigen keine wahrnehmbare Nichtgleichmäßigkeit der Emissionsintensität, im Gegensatz zu dem gleichartigen Photomikrobild des Bauelements nach Fig. 1, das in Fig. 2 gezeigt ist.

Das Flächenausnutzungsverhältnis wird für das Bauelement nach Fig. 9A als 55% berechnet, eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem Bauelement von Fig. 1. Das Bauelement, das in Fig. 9 gezeigt ist, wird mit Standardhalbleiter-Herstellungstechniken hergestellt, die mit einer Massenherstellung konsistent sind. Das Flächenausnutzungsverhältnis könnte wesentlich verbessert werden, indem Arme mit einer kleineren Breite definiert und engere Toleranzen verwendet werden. Obwohl das Ausführungsbeispiel von Fig. 9 als ein drahtgebondetes Bauelement gezeigt ist, kann die LED in einer Flip-Chip-Konfiguration hergestellt werden. Zu Zwecken dieser Erfindung werden als Arme einzelne oder mehrere verbundene Elektroden einer willkürlichen Form betrachtet.

Fig. 13 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das ein Substrat mit einem quadratischen Querschnitt und Abmessungen von $1,0 \times 1,0 \text{ mm}^2$ aufweist, und das eine Verbundelektrode besitzt, die mit der n-Typ-Halbleiterschicht verbunden ist und drei Seiten des Umfangs des Substrats einhüllt, mit zwei Verbindungsanschlußflächen. Eine zweite Verbundelektrode ist mit den p-Typ-Halbleiterschichten verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region und zwei Verbindungsanschlußflächen zu verteilen. Die Verbindungsanschlußflächen sind für ein Drahtboden mit einem Durchmesser von näherungsweise 0,1 mm bestimmt. Mehrere Verbindungsanschlußflächen sind zu Zwecken einer Redun-

danz und zum Betrieb mit einem hohen Betriebsstrom an beiden Elektroden angebracht. Die lichtemittierende Region ist vollständig innerhalb des Vorsprungs der Arme der äußeren Elektrode enthalten. Die äußeren Einschlußelektroden dienen dazu, die Gleichmäßigkeit der Stromdichte zu verbessern und den Serienwiderstand der LED zu verringern.

Fig. 14 zeigt eine Teilquerschnittsansicht der LED in Fig. 13. Die Arme der äußeren Elektrode liefern zwei getrennte Wege für den Stromfluß, um die Stromgleichmäßigkeit durch wirksames Reduzieren der mittleren Stromdichte zu verbessern. Die kleinere mittlere Strecke, die der Strom lateral in der n-Typ-Halbleiterschicht zurücklegen muß, führt zu einer Reduzierung des Serienwiderstands der LED. Die mehreren parallelen Arme führen zu zusätzlichen Wegen, die den Serienwiderstand der LED weiter reduzieren.

Fig. 15 zeigt die I-V-Beziehung für das Bauelement, das in Fig. 13 gezeigt ist, und offenbart eine Betriebsspannung von 2,92 V bei einem Vorwärtsstrom von 240 mA und einem Serienwiderstand von $1,2 \Omega$. Die Gleichmäßigkeit der Stromdichte wird aus Fig. 16 offensichtlich, einem optischen Nahfeld-Photomikrobild eines Abschnitts der lichtemittierenden Region, die bei einem Vorwärtsstrom von 500 mA betrieben ist. Keine wahrnehmbare Ungleichmäßigkeit der Intensität zeigt sich bei der Emission bei diesem Strom, der einer Stromdichte von $\sim 70 \text{ A/cm}^2$ entspricht.

Das Flächenausnutzungsverhältnis für diese LED mit $1 \times 1 \text{ mm}^2$, die in Fig. 13 gezeigt ist, wird als 74% berechnet. Das Bauelement wird mit Standardhalbleiter-Herstellungstechniken, die mit einer Massenherstellung konsistent sind, hergestellt. Das Flächenausnutzungsverhältnis könnte wesentlich verbessert werden, indem Arme mit kleineren Breiten definiert und strengere Toleranzen verwendet werden. Obwohl das Ausführungsbeispiel, das in Fig. 13 gezeigt ist, als ein drahtgebondetes Bauelement gezeigt ist, kann die LED in einer Flip-Chip-Konfiguration hergestellt werden.

Obwohl die Ausführungsbeispiele, die in den Fig. 9 und 13 dargelegt sind, für spezifische Substrat-Größen und -Formen gezeigt sind, könnten einfache Verfahrens- und Entwurfs-Erwägungen verwendet werden, um LEDs in einem breiten Bereich herzustellen, die mit gegenwärtigen Herstellungsfähigkeiten konsistent sind. Die Fig. 17A und 17B zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung.

Fig. 18 zeigt ein Bauelement gemäß der vorliegenden Erfindung mit einer Verbundelektrode, die mit der n-Typ-Halbleiterschicht verbunden ist, die alle vier Seiten des Umfangs des rechteckigen Substrats vollständig umgibt. Diese n-Elektrode wird als eine äußere oder Voll-Einschluß-Elektrode bezeichnet, und besitzt eine einzelne Verbindungsanschlußfläche. Eine zweite Verbundelektrode ist mit den p-Typ-Halbleiterschichten verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region und eine einzelne Verbindungsanschlußfläche zu verteilen. Die Verbindungsanschlußflächen sind bei diesem Ausführungsbeispiel für ein Drahtboden bestimmt und besitzen einen Durchmesser von 0,1 mm. Die lichtemittierende Region ist vollständig innerhalb der äußeren Elektrode eingeschlossen. Andere Ausführungsbeispiele können mehrere Verbindungsanschlußflächen enthalten.

Die äußere Voll-Einschluß-Elektrode verbessert die Gleichmäßigkeit der Stromdichte und verringert den Serienwiderstand der LED. Fig. 19 zeigt eine Darstellung der I-V-Beziehung für die Bauelemente der Fig. 1 und 18 mit vier unterschiedlichen Substratgrößen. Die Substratgrößen sind: $0,35 \times 0,35 \text{ mm}^2$, $0,50 \times 0,50 \text{ mm}^2$, $0,70 \times 0,70 \text{ mm}^2$ und $0,85 \times 0,85 \text{ mm}^2$. Die Bauelemente von Fig. 18 zeigen alle eine reduzierte Betriebsspannung jeweils bei Strömen von

mehr als 20 mA und einen wesentlich kleineren Serienwiderstand als Bauelemente gleicher Größe, die mit einer Geometrie, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, hergestellt sind. Werte für die Vorwärtsspannung bei 200 mA und einen Serienwiderstand sind 4,0 V und 3,6 Ω für das Bauelement von Fig. 18 auf einem $0,85 \times 0,85$ -mm²-Substrat und 5,5 V und 10 Ω für das Bauelement von Fig. 1 mit den gleichen Abmessungen.

Die äußere Voll-Einschluß-Elektrode von Fig. 18 verbessert die Gleichmäßigkeit der Stromdichte und die optische Ausgangsleistung von Bauelementen mit einer minimalen Substratgröße. Fig. 20 zeigt eine Darstellung der Beziehung von optischer Ausgangsleistung zu Strom (P-I) für die Bauelemente der Fig. 1 und 18 für vier Substratgrößen. Alle Bauelemente wurden in ein Epoxidgehäuse des gleichen Typs eingekapselt. Oberhalb 150 mA emittieren die zwei größten Bauelemente von Fig. 18 deutlich mehr optische Ausgangsleistung als die zwei größten Bauelemente von Fig. 1. Diese Zunahme der optischen Ausgangsleistung findet aufgrund der verbesserten Gleichmäßigkeit der Stromdichte des Bauelements, das in Fig. 18 gezeigt ist, im Gegensatz zu der des Bauelements von Fig. 1 statt. Die Fig. 21A bis 21C zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung. Zu Zwecken dieser Erfindung werden Vorsprünge als einzelne oder mehrere verbundene Elektroden einer willkürlichen Form betrachtet.

Die Fig. 22A und 22B zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit mehreren Verbundelektroden, die mit dem n-Typ-Halbleiter verbunden sind. Jede Verbundelektrode umfaßt Arme, um eine gleichmäßige Stromverteilung zu verbessern, und angebrachte Verbindungsanschlußflächen. Diese Vielzahl von n-Elektroden wird als segmentierte äußere Elektrode bezeichnet. Eine zweite Verbundelektrode ist mit der p-Typ-Halbleiterschicht verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region und eine einzelne Verbindungsanschlußfläche zu verteilen. Die Verbindungsanschlußflächen können drahtgebondet sein und einen Durchmesser von 0,1 mm aufweisen. Die lichtemittierende Region ist vollständig innerhalb des Vorsprungs der äußeren Elektrode eingeschlossen. Die segmentierte äußere Elektrode liefert eine optimale gleichmäßige Stromverteilung, im Einklang mit einer minimalen Menge eines lichtundurchlässigen Materials, das den optischen Wirkungsgrad der LED reduziert.

Die Fig. 23A bis 23D zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit mehreren unabhängigen lichtemittierenden Regionen, die auf dem gleichen Substrat enthalten sind, und die auf verschiedene Arten elektrisch verbunden sind, um einen großen Bereich von I-V-Beziehungen zu liefern. Die Verbindungsmetallisierung kann durch eine Mehrebenen-Herstellungstechnik hergestellt sein. Diese Geometrie ermöglicht die Realisierung von Bauelementen mit willkürlichen inkrementalen Einheitsflächen unter Verwendung der gleichen Waferherstellungsprozesse.

Patentansprüche

1. Lichtemittierendes Bauelement mit folgenden Merkmalen:
einer Bauelementstruktur;
einem Heteroübergang (12) in der Bauelementstruktur, der eine p-Typ- und eine n-Typ-Halbleiterschicht (12a, 12b) aufweist;
zwei Elektroden (14a, 14b), wobei eine der zwei Elektroden mit der p-Typ-Halbleiterschicht elektrisch verbunden ist, während die andere der zwei Elektroden mit der n-Typ-Halbleiterschicht elektrisch verbunden

ist,
wobei der kürzeste Abstand zwischen den inneren Konturen der Elektroden an jedem Punkt zwischen +35% bis +150% des Mittelwerts des Abstands zwischen den Elektroden variiert,
wobei die Länge von zumindest einer der zwei Elektroden $\geq 65\%$ der Länge einer Seite des Bauelements ist; und

zumindest einer Region mit einem gleichmäßigen Lichtintensitätsverhältnis $< 3,0$ bei einer mittleren Stromdichte von ≥ 30 A/cm², wobei ein gleichmäßiges Lichtintensitätsverhältnis als das Verhältnis der maximalen lokalen Lichtintensität I_{max} zu der mittleren Lichtintensität I_{ave} definiert ist.

2. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, bei dem:

die Bauelementstruktur ein massives Prisma mit einer Querschnittsfläche ist; und
die Länge der zwei Elektroden $\geq 65\%$ der Länge von einer Seite der Querschnittsfläche ist.

3. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, bei dem:

die Querschnittsfläche des Bauelements ein Polygon ist; und
die Länge der zwei Elektroden $\geq 65\%$ der Länge von zumindest zwei Seiten des Polygons ist.

4. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 3, bei dem die inneren Konturen der zwei Elektroden parallel zu den Seiten des Polygons sind.

5. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 3 oder 4, bei dem die inneren Konturen der zwei Elektroden parallel zueinander sind.

6. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem das Polygon aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Quadrate, Hexagone, Oktagone, Rechtecke, Trapezoide und Parallelogramme enthält.

7. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem jede der zwei Elektroden folgende Merkmale aufweist:

einen Drahtbondbereich (14a, 14b); und
wobei die Form der Elektroden von dem Drahtbondbereich weg verjüngt ist.

8. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 2 bis 7, bei dem:

die Form der Querschnittsfläche aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Kreise, Ellipsen und Ovale enthält; und zumindest eine der zwei Elektroden eine Länge besitzt, die $\geq 25\%$ der Länge der Umfangslänge des Bauelements beträgt.

9. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, bei dem das Volumen der Bauelementstruktur aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Kugeln und Halbkugeln enthält.

10. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem eine der zwei Elektroden (14a, 14b) eine Einschlußelektrode ist, die eine Form besitzt, die 100% des lichtemittierenden Bereichs einschließt.

11. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 10, bei dem die Form der Einschlußelektrode (14a, 14b) aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Rechtecke, Kreise, Quadrate, Parallelogramme, Ellipsen und Ovale enthält.

12. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 10, bei dem die Form der Einschlußelektrode (14a, 14b) Vorsprünge umfaßt, die wirksam sind, um einen Strom in einer entsprechenden Halbleiterschicht zu

verteilen.

13. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, das ferner eine Mehrzahl von n- und p-Elektroden (14a, 14b) aufweist, die positioniert sind, um Q elektrisch verbundene Regionen, $Q \geq 2$, zu definieren und den lichtemittierenden Bereich einzuhüllen. 5

14. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 13, bei dem die Q elektrisch verbundenen Regionen unter Verwendung einer Mehrebenenmetallisierung verbunden sind. 10

15. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, wobei eine der zwei Elektroden (14a, 14b) ferner zwei äußere Arme und N innere Arme aufweist, wobei $N \geq 0$, sowie einen Querbalken, der die zwei äußeren und N inneren Arme verbindet, wobei der Vorsprung der zwei äußeren Arme 75% oder mehr der lichtemittierenden Region einschließt. 15

16. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 15, das ferner Verbindungsanschlußflächen (14a, 14b), die zwischen den zwei äußeren und N inneren Armen 20 angeordnet sind, aufweist.

17. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 16, bei dem die andere der zwei Elektroden (14a, 14b) als eine Gabel mit M Zinken geformt ist, wobei $M \geq 1$. 25

18. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 17, bei dem die M Zinken zwischen den zwei äußeren und N inneren Armen angeordnet sind. 30

19. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 18, bei dem der Abstand zwischen den N inneren Armen und den M Zinken konstant ist. 35

20. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 17, bei dem der Vorsprung der zwei äußeren Arme 100% der lichtemittierenden Region einhüllt.

21. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, das ferner folgende Merkmale aufweist:

ein Flächenausnutzungsverhältnis von zumindest 60%, das als das Verhältnis der Fläche der lichtemittierenden Region zu der Gesamtfläche der Bauelementstruktur definiert ist; und 40

wobei die Fläche der Bauelementstruktur $\geq 0,2 \text{ mm}^2$ ist.

Hierzu 30 Seite(n) Zeichnungen

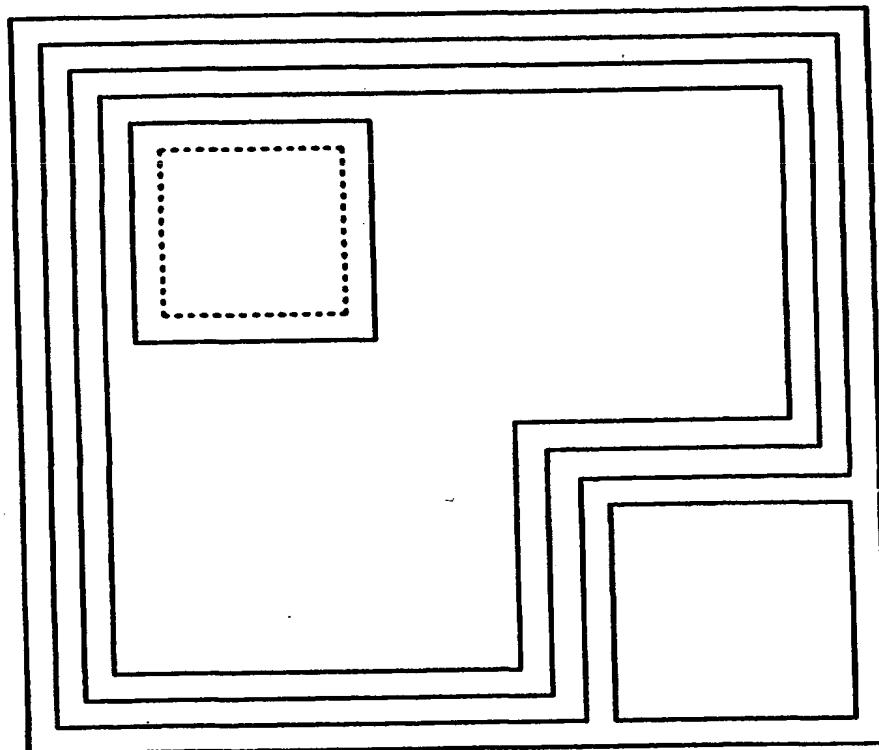


FIG. 1

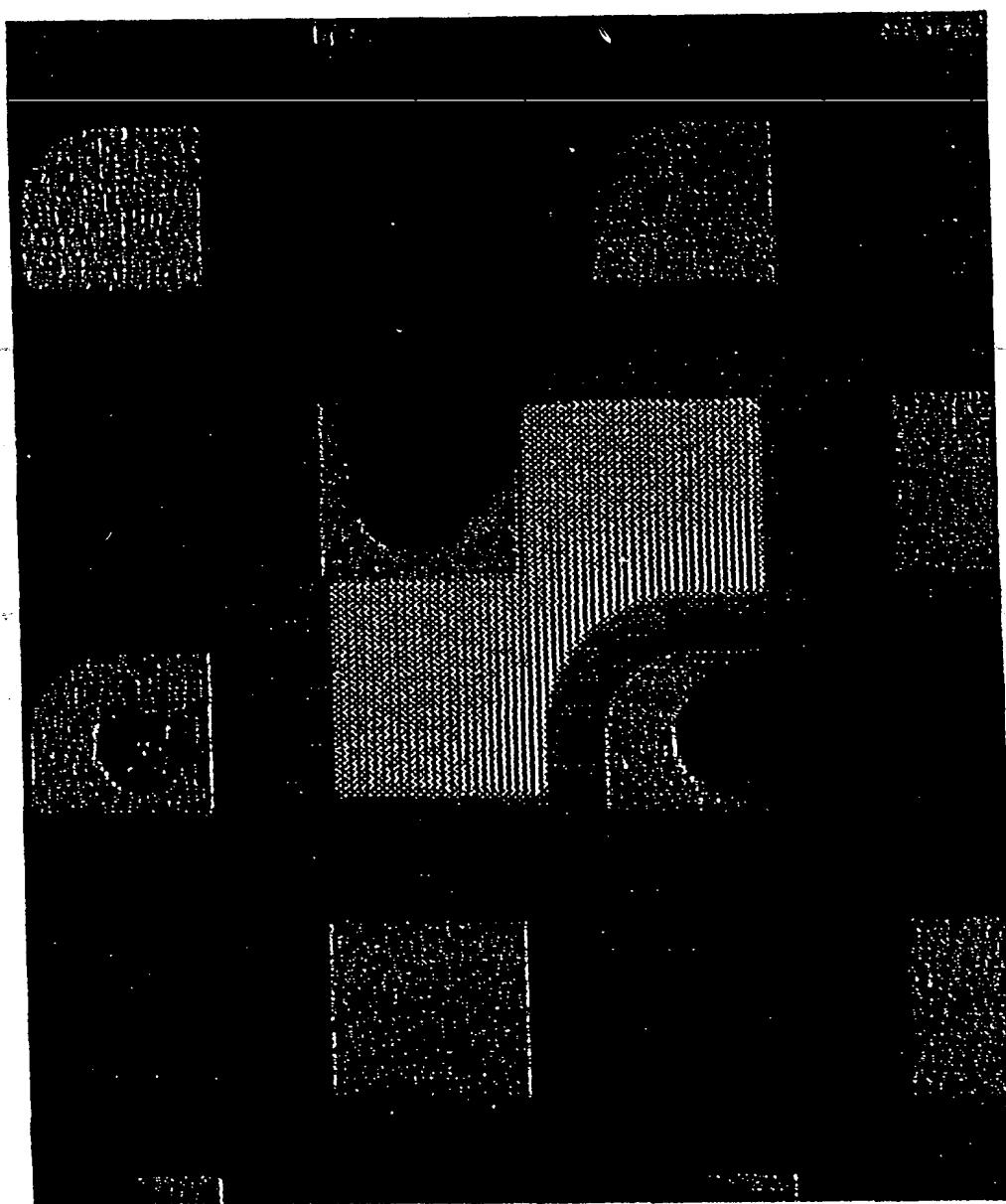


FIG.2

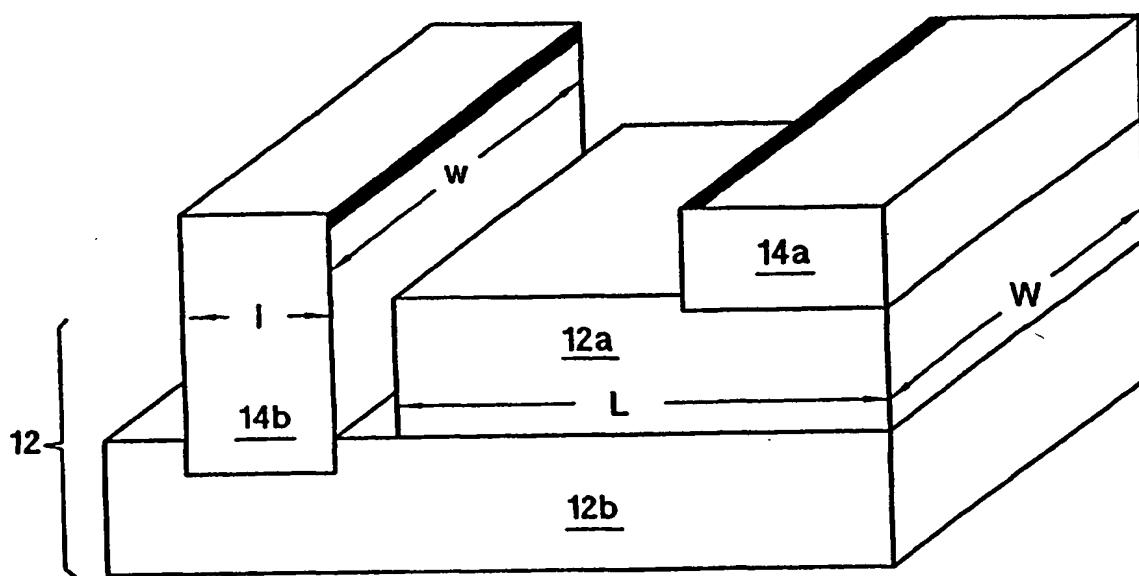
10

FIG. 3

002 022/625

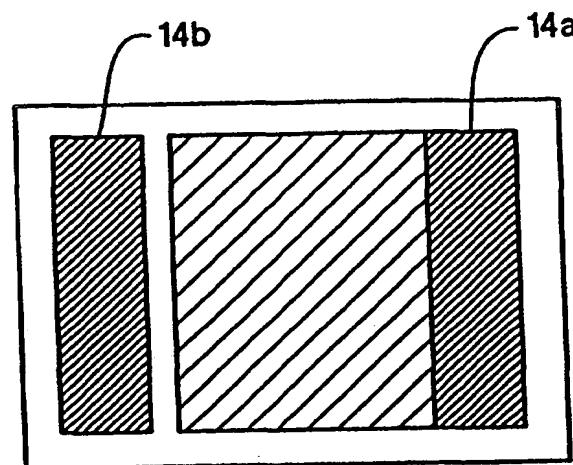


FIG. 4A

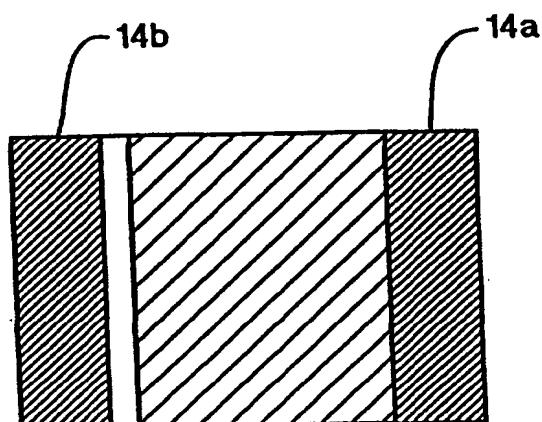
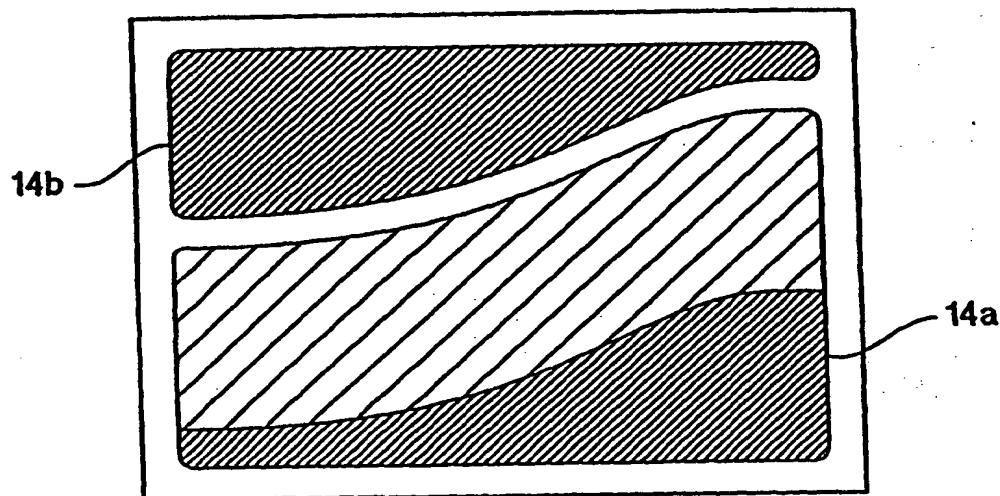
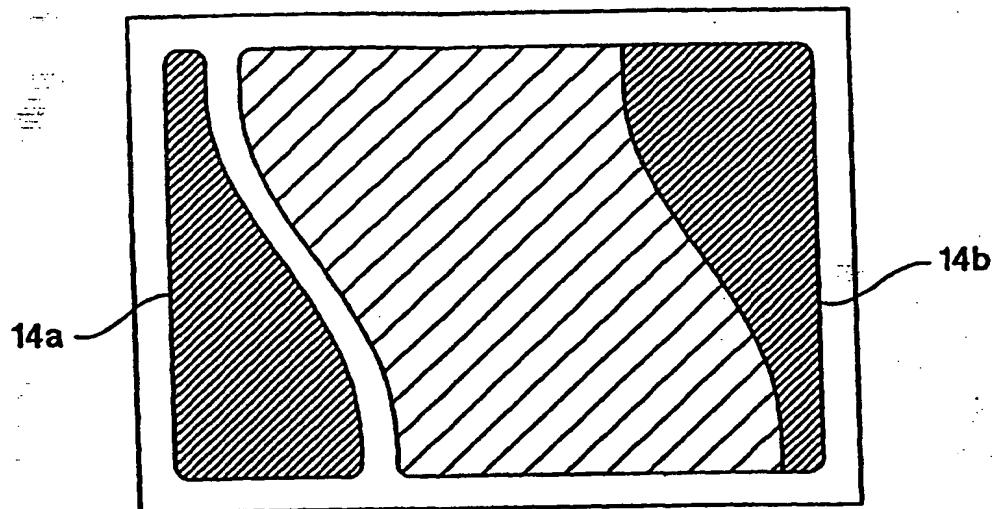


FIG. 4B



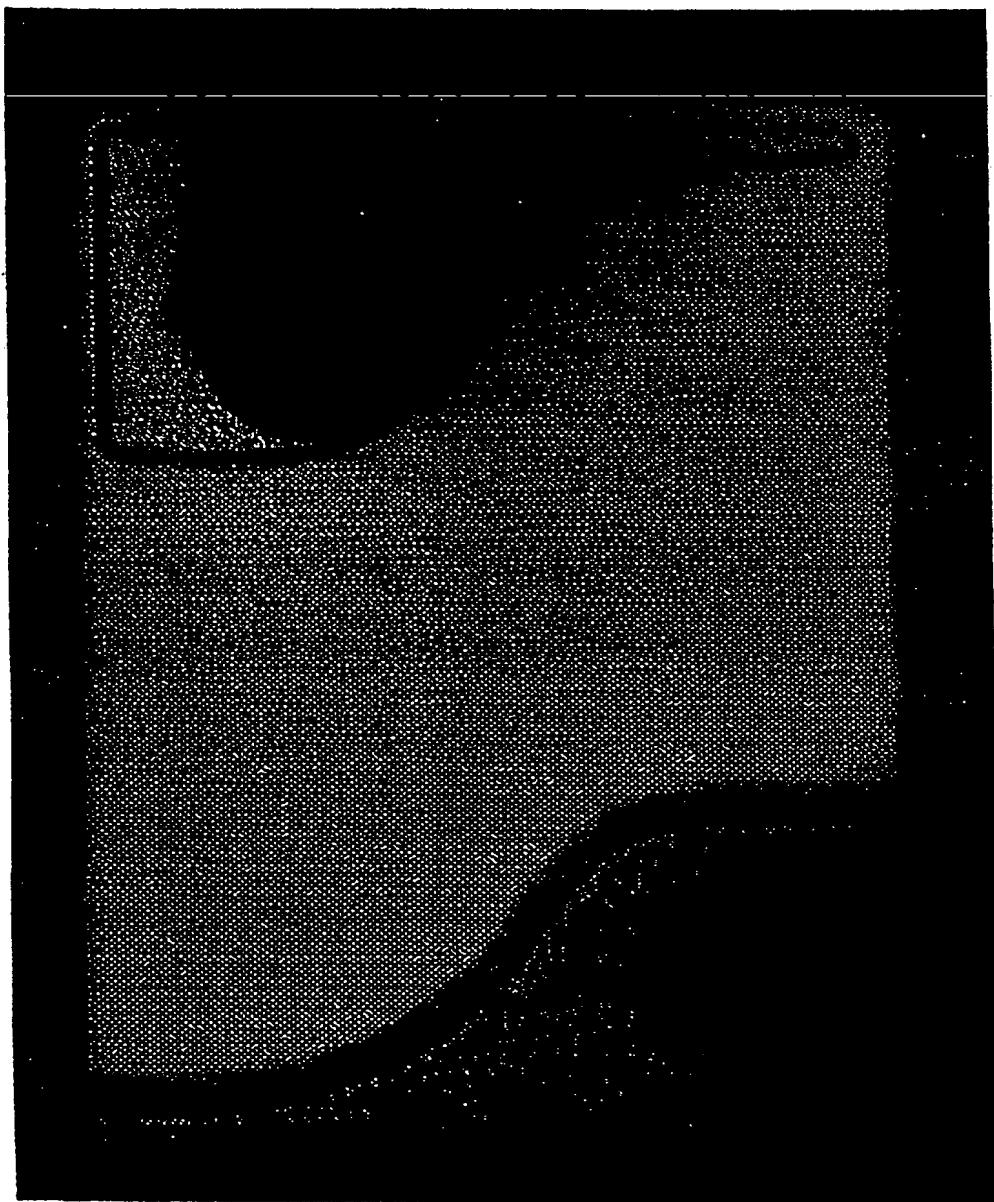


FIG. 6A

002 022/625

Nummer:

DE 199 53 160 A1

Int. Cl.⁷:

H 01 L 33/00

Offenlegungstag:

31. Mai 2000

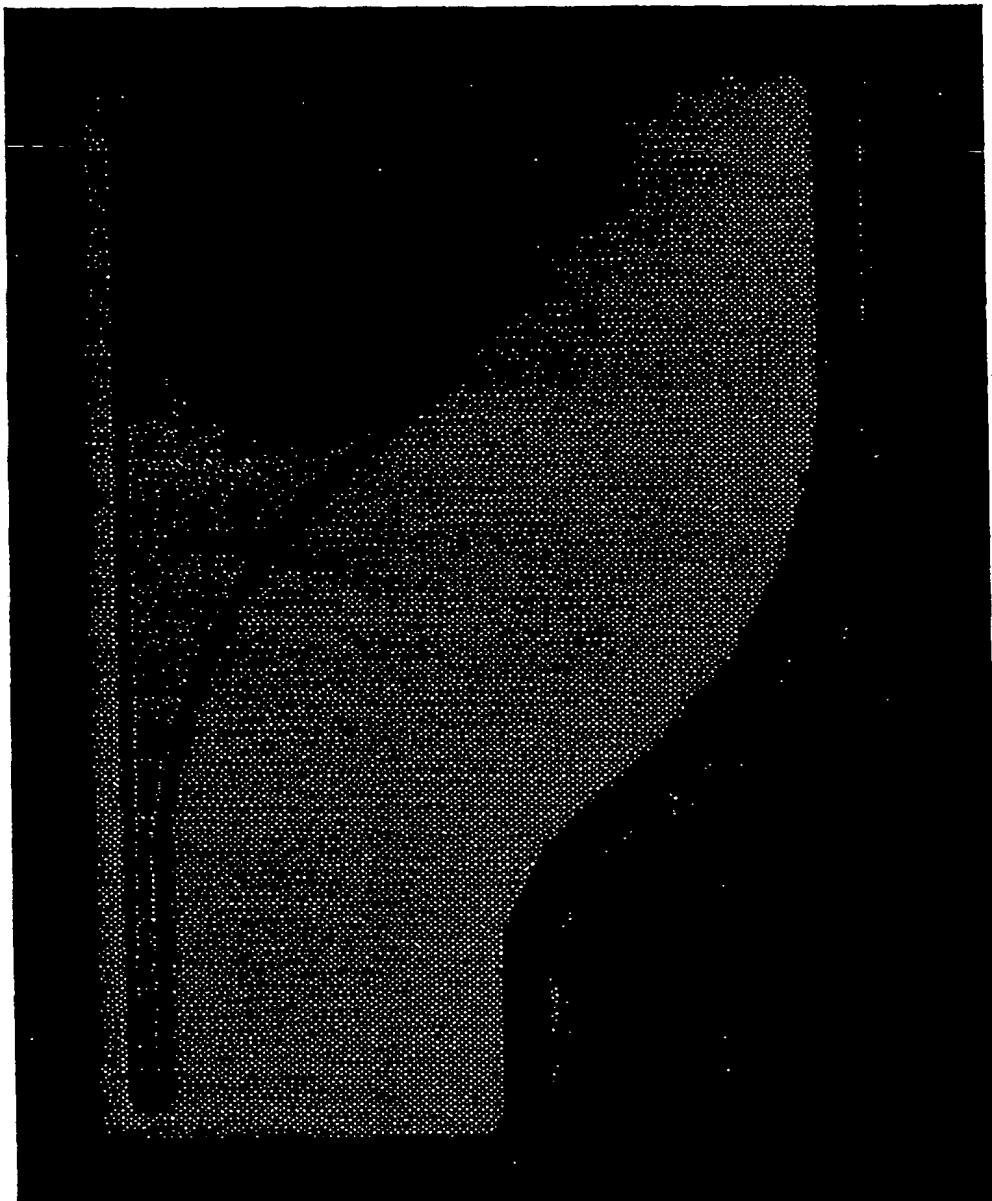


FIG. 6B

002 022/625

AlInGaN-LED-STROM-SPANNUNGS-KURVEN

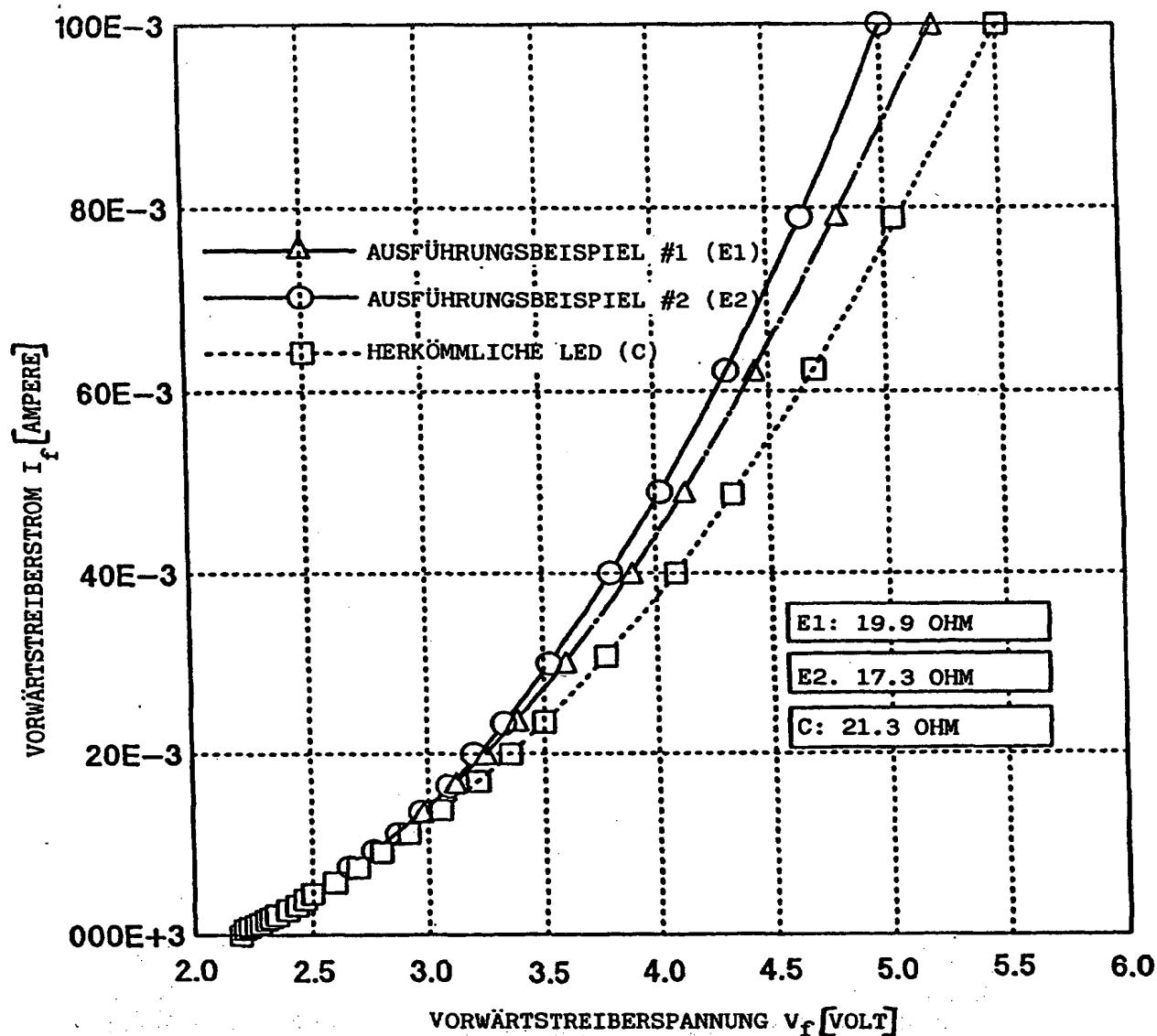


FIG. 7

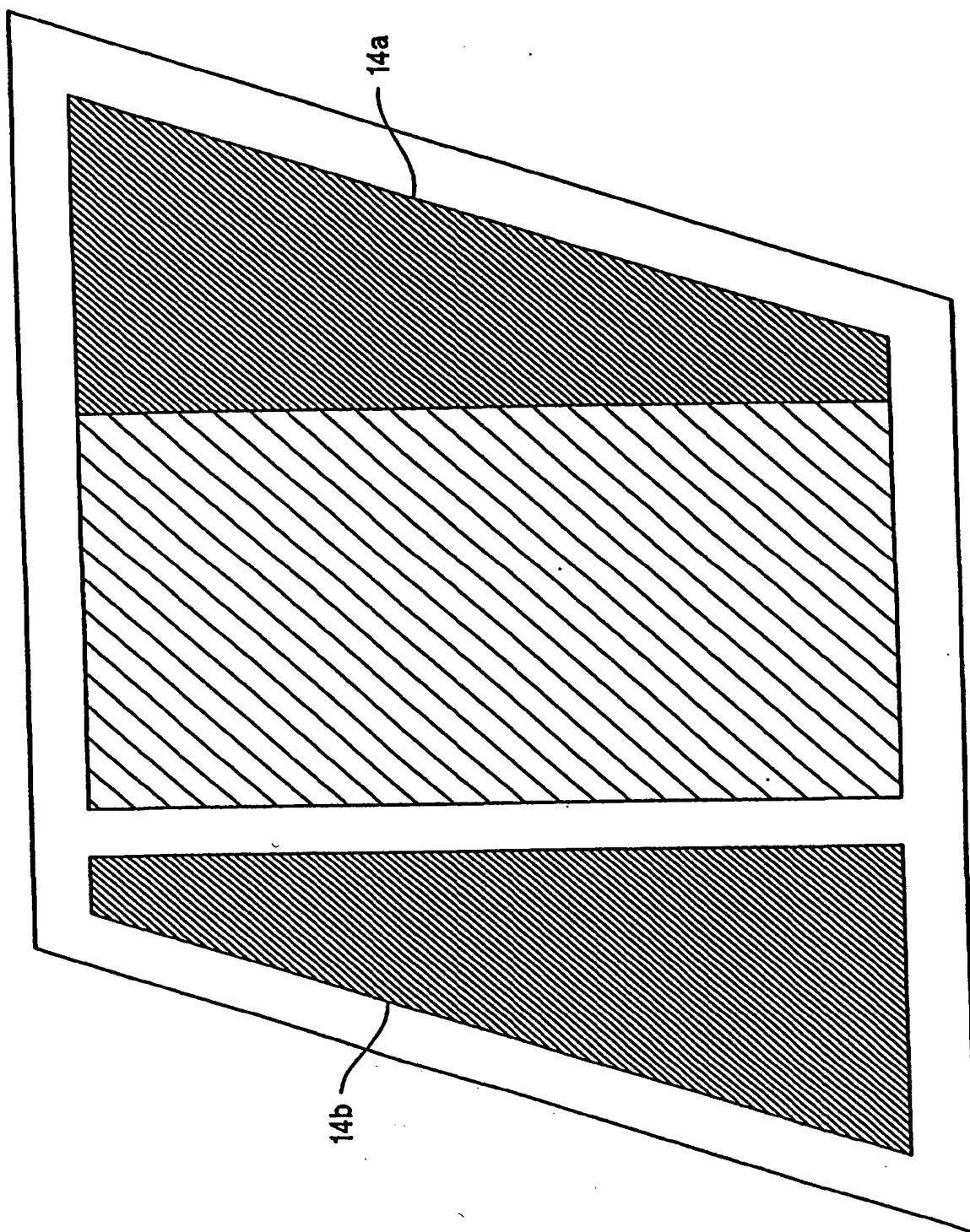
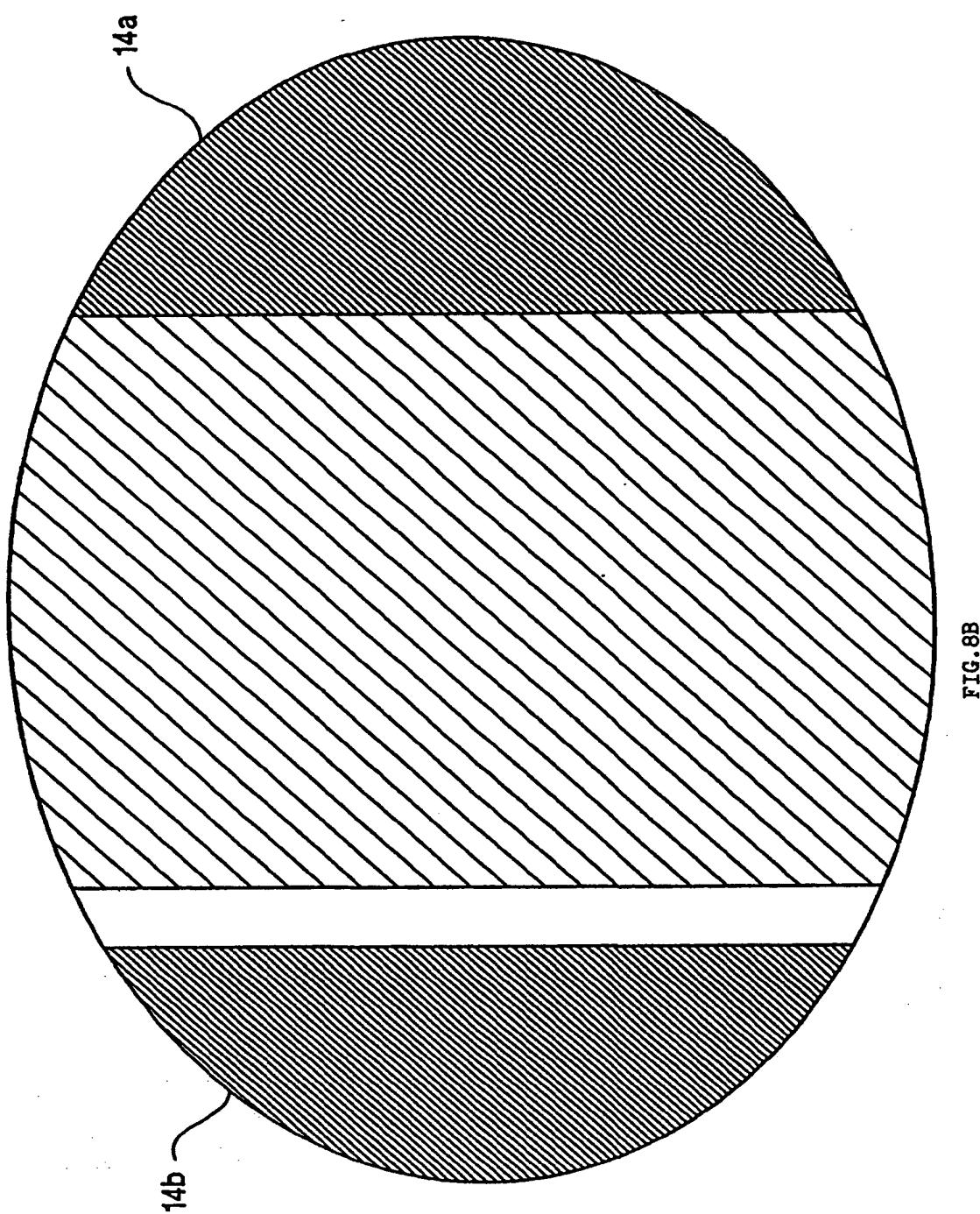


FIG. 8A



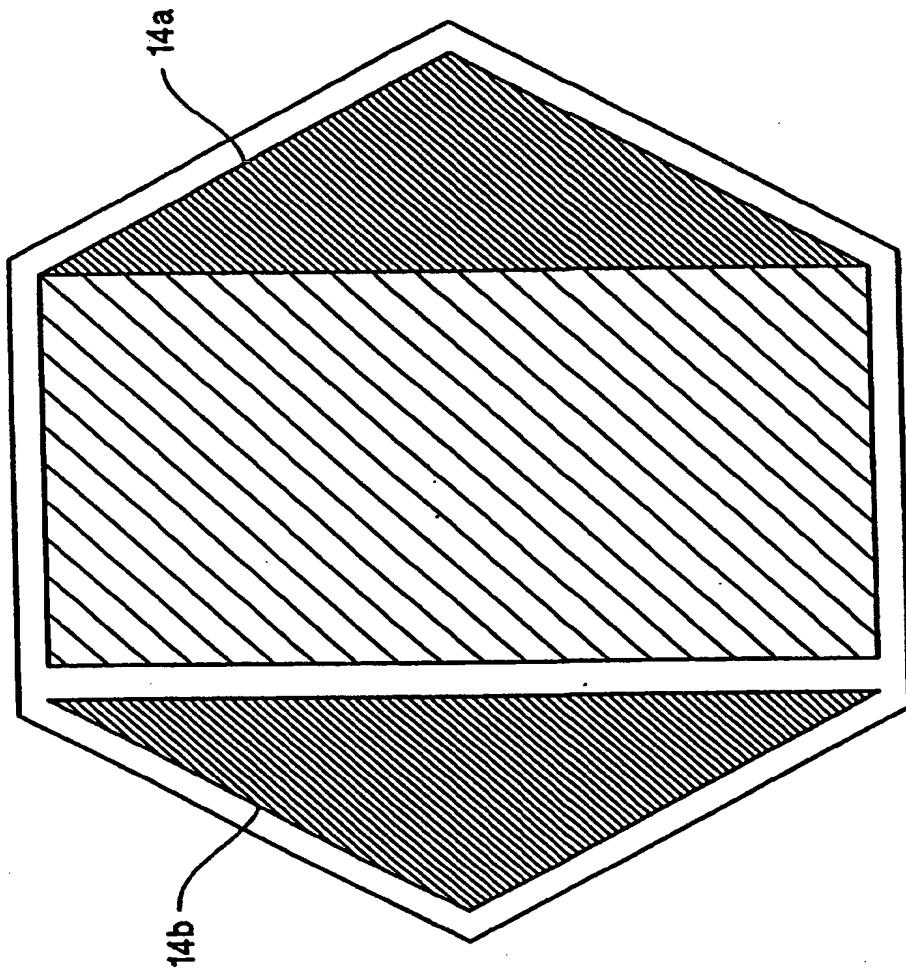


FIG. 8C

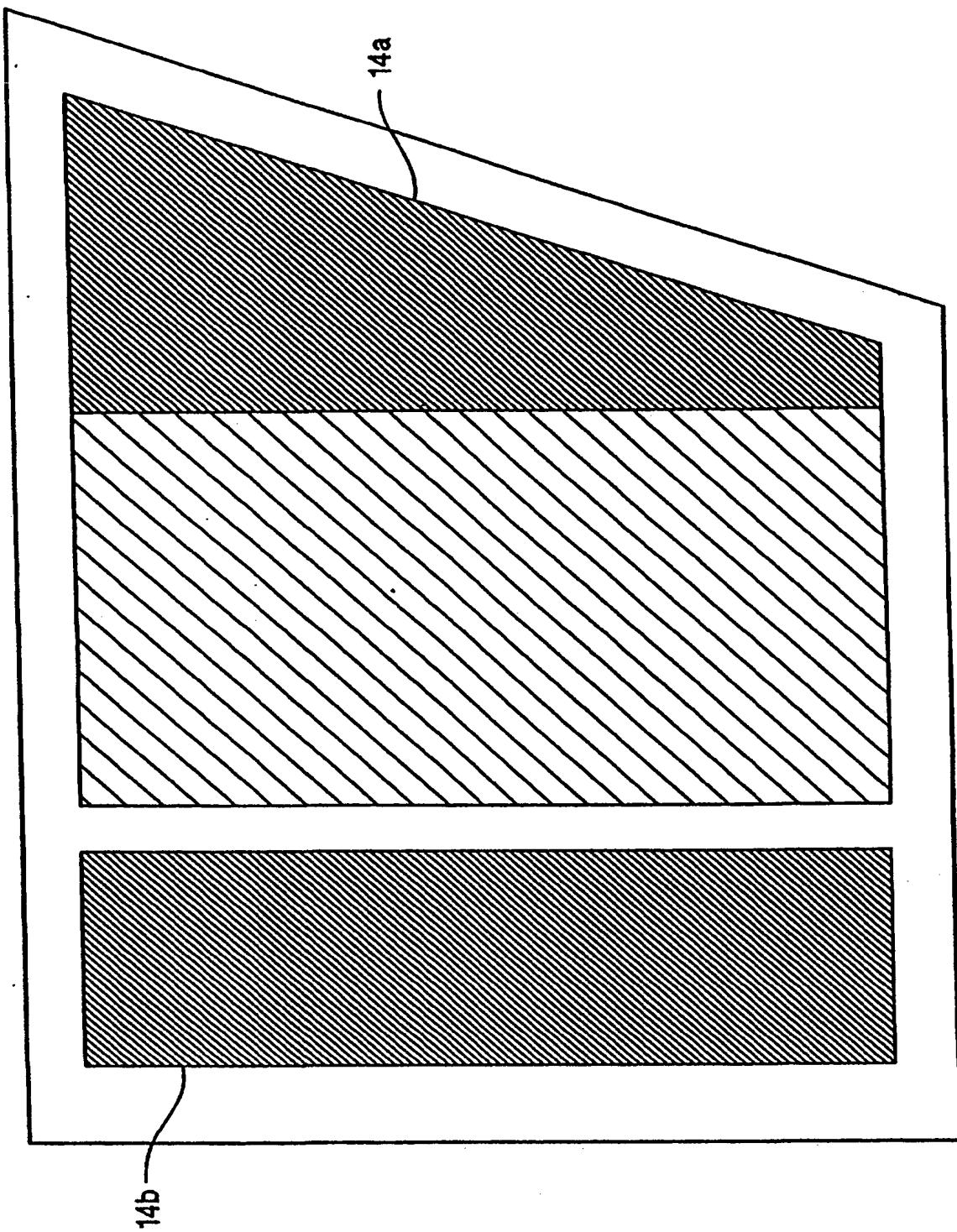


FIG. 8D

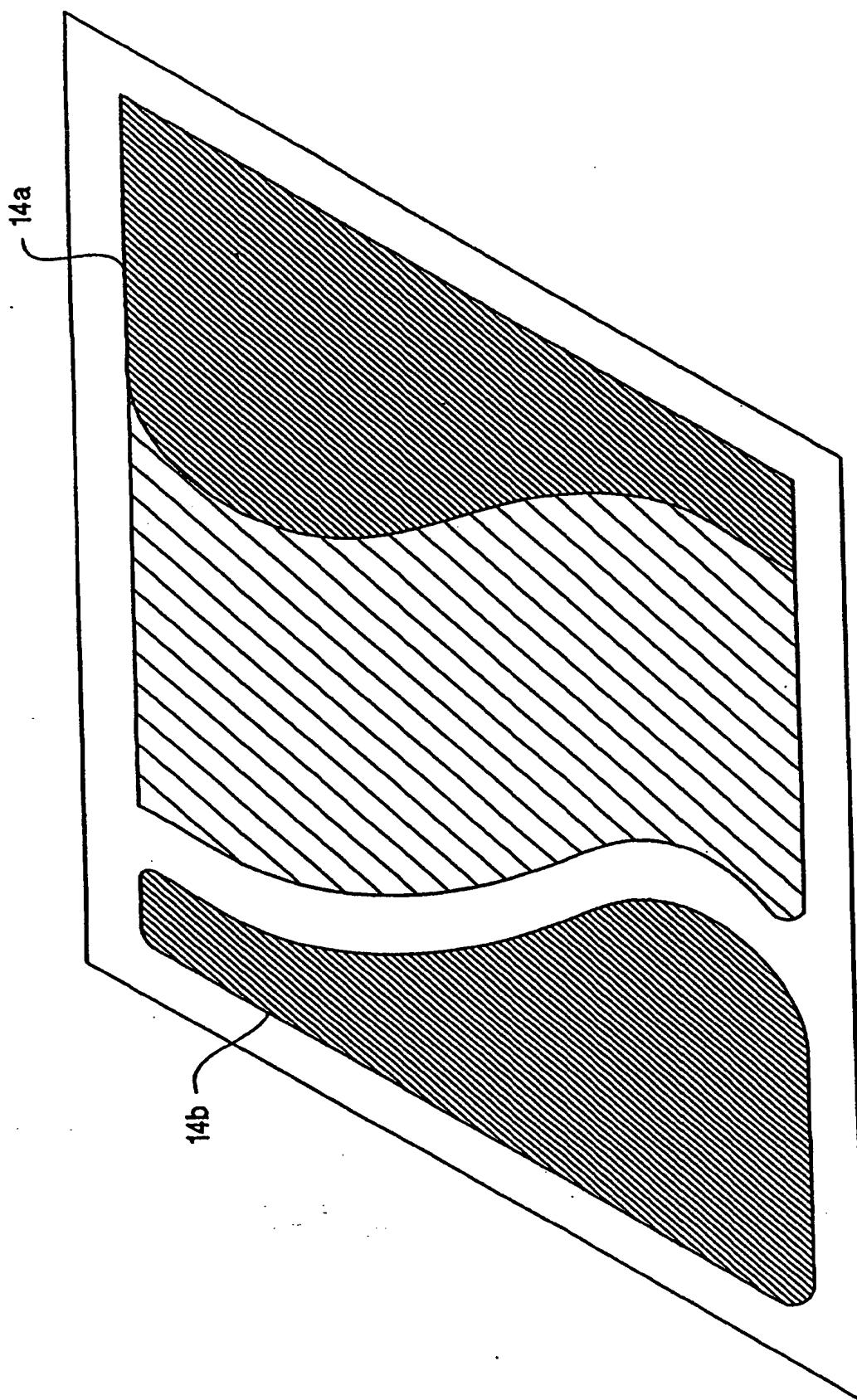


FIG.8E

002 022/625

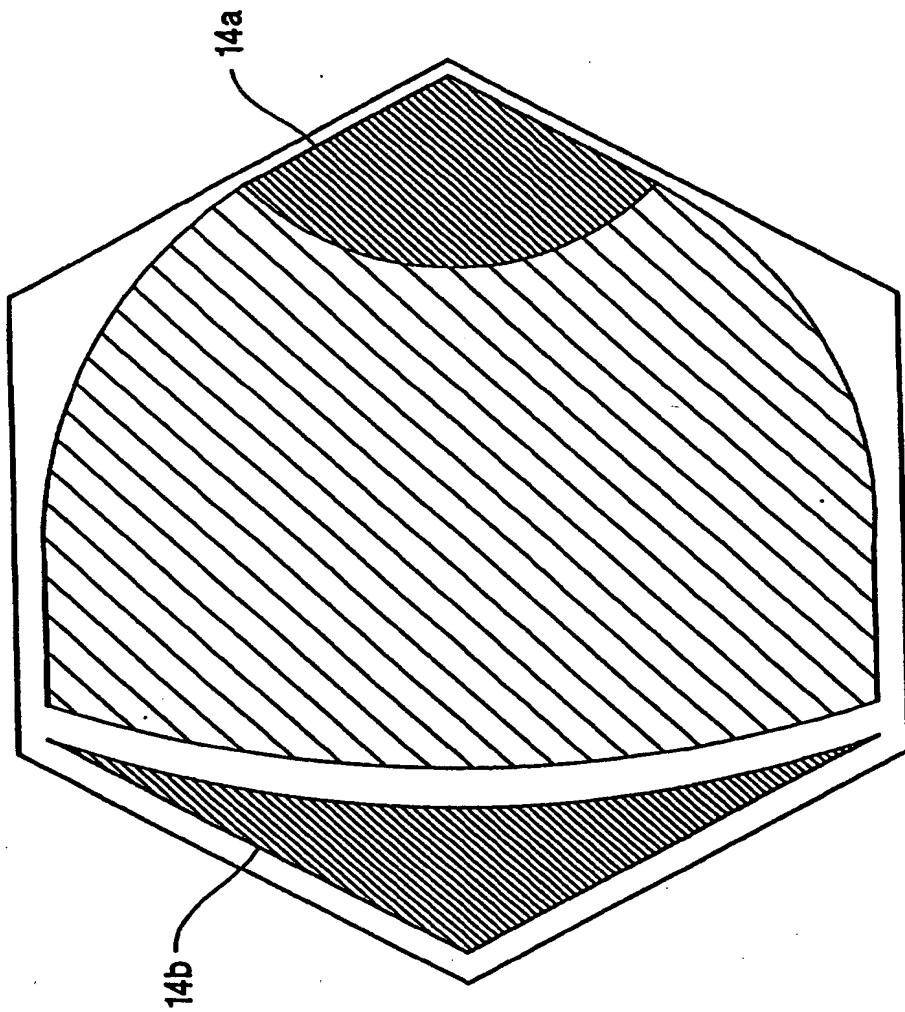


FIG. 8F

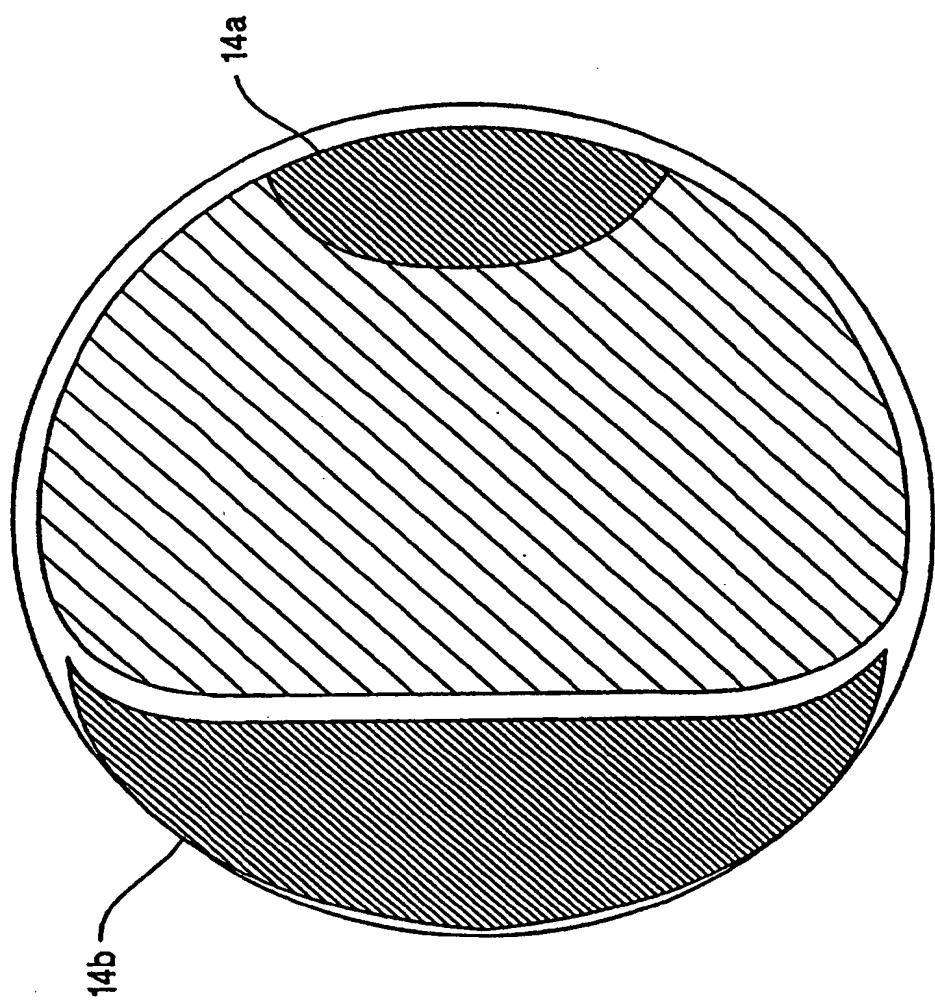


FIG. 8G

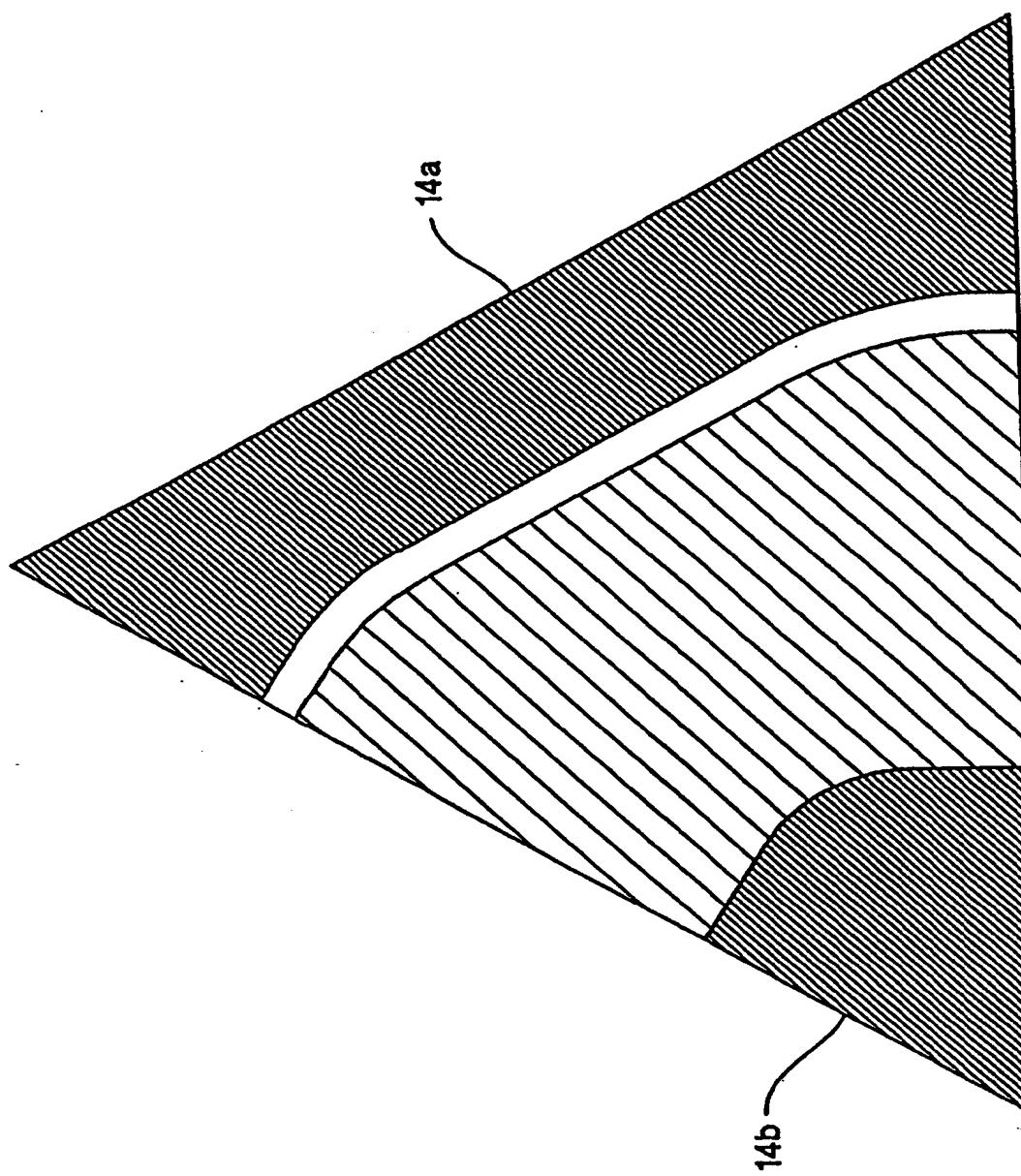


FIG. 8H

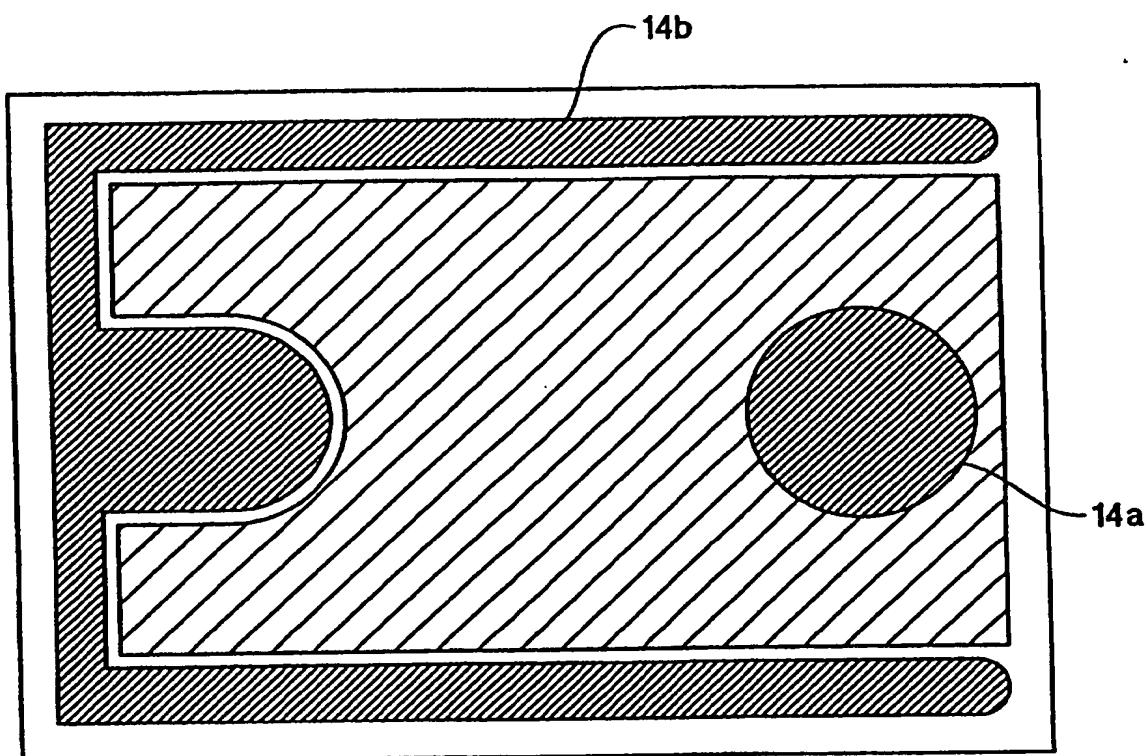


FIG. 9

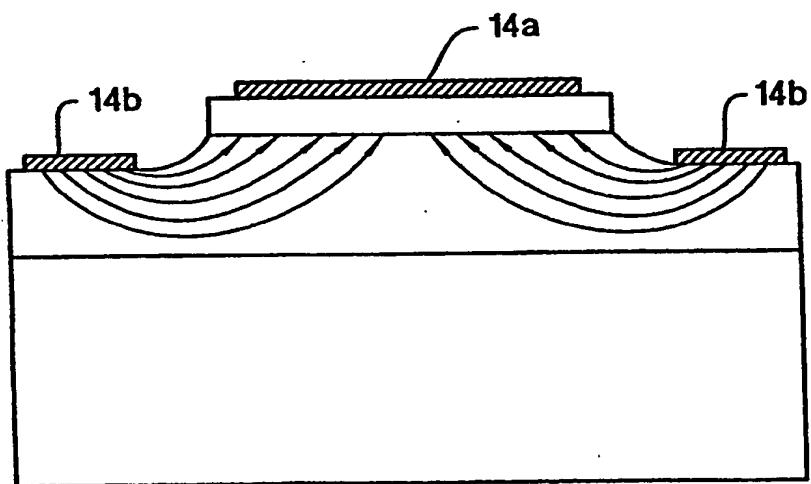


FIG. 10

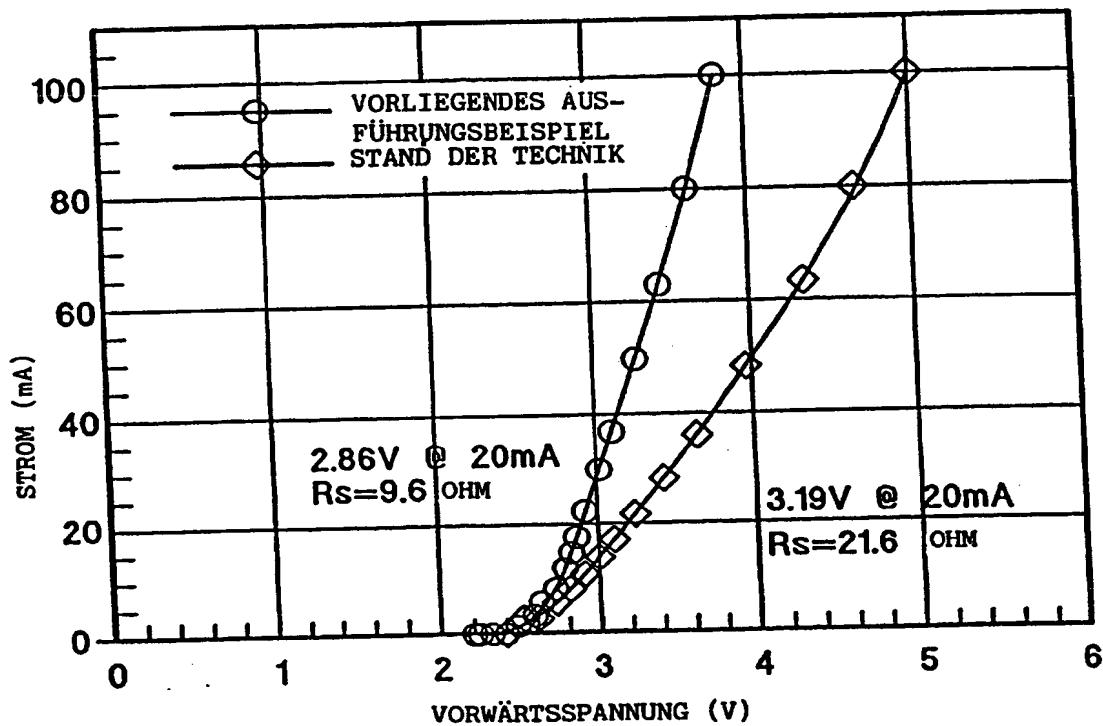


FIG.11

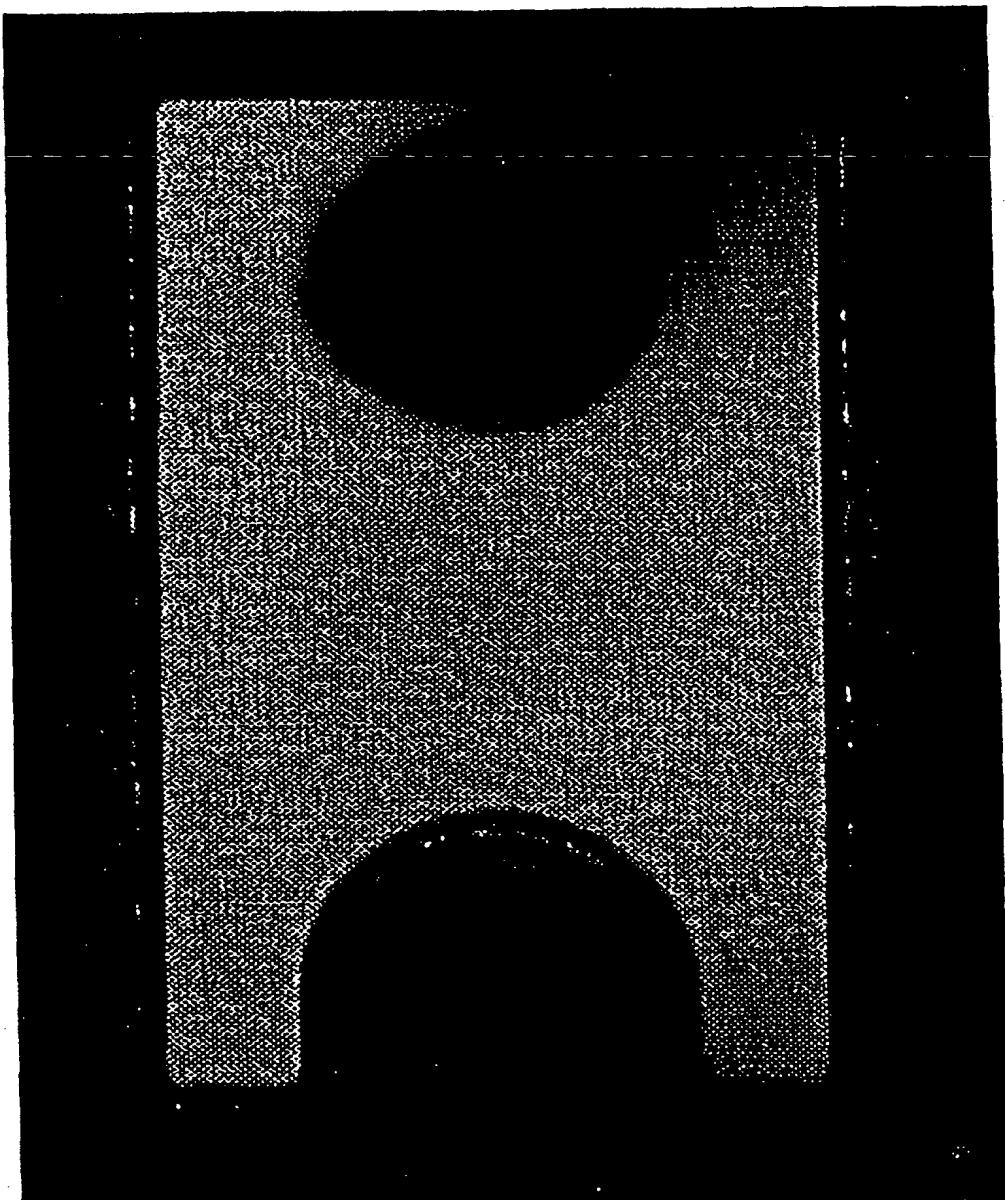


FIG.12A

002 022/625

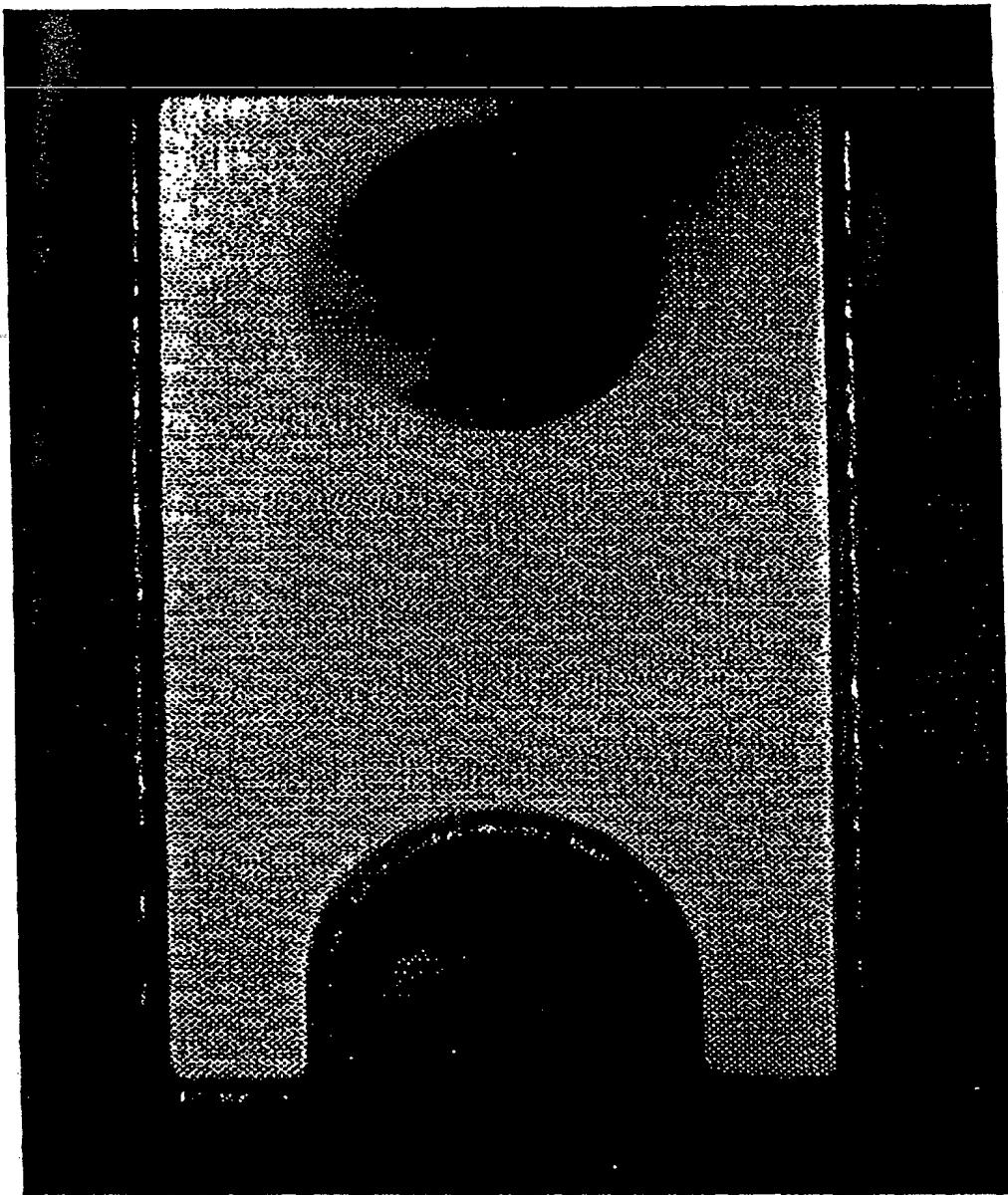


FIG. 12B

002 022/625

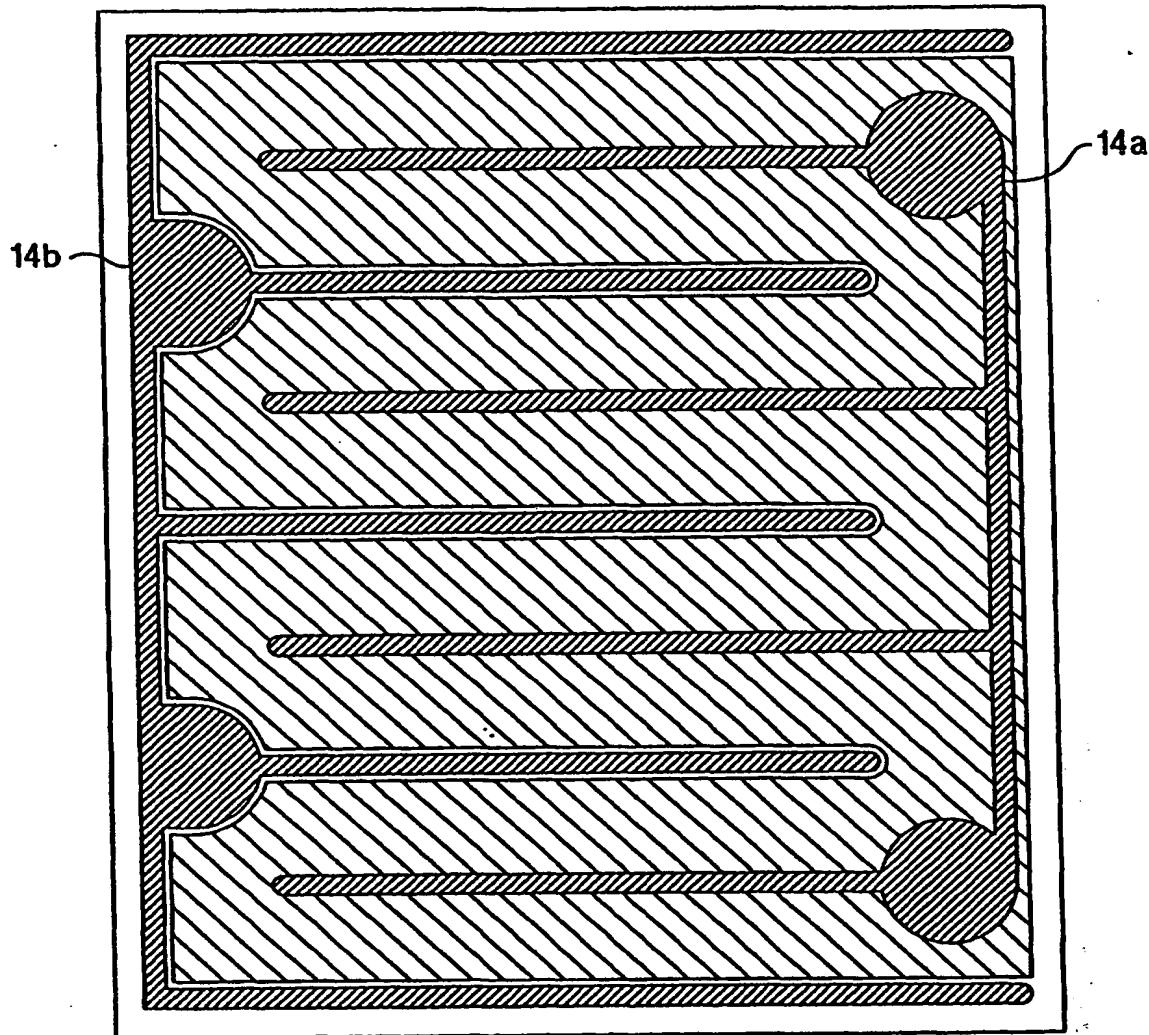


FIG.13

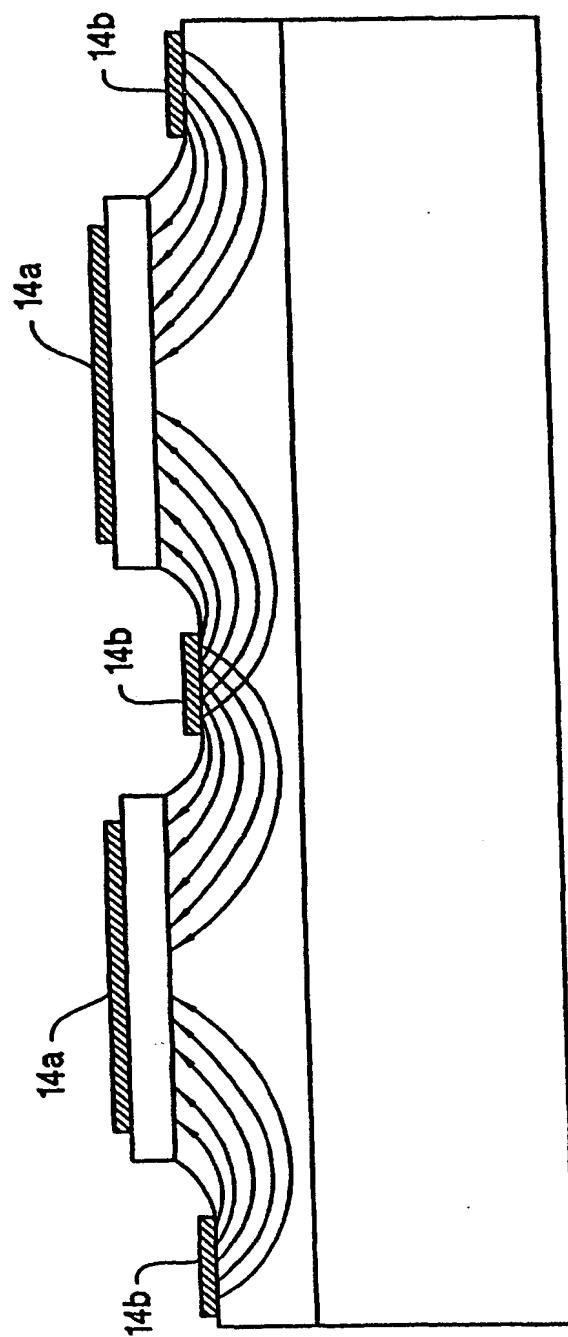


FIG.14

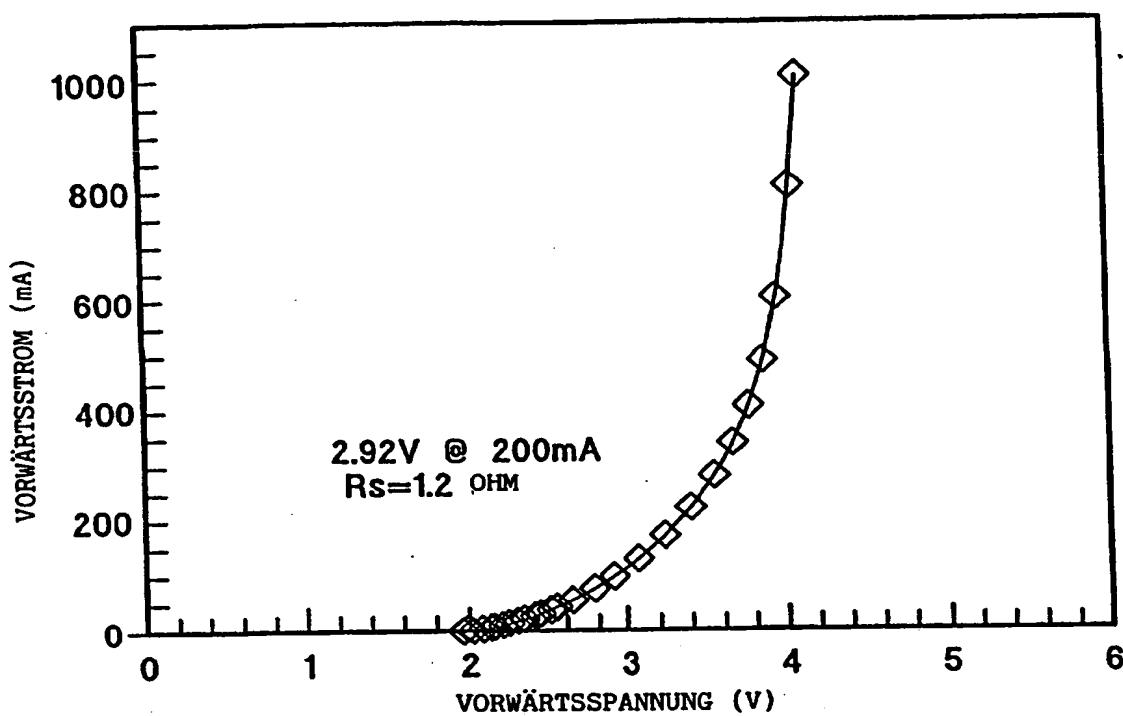


FIG.15

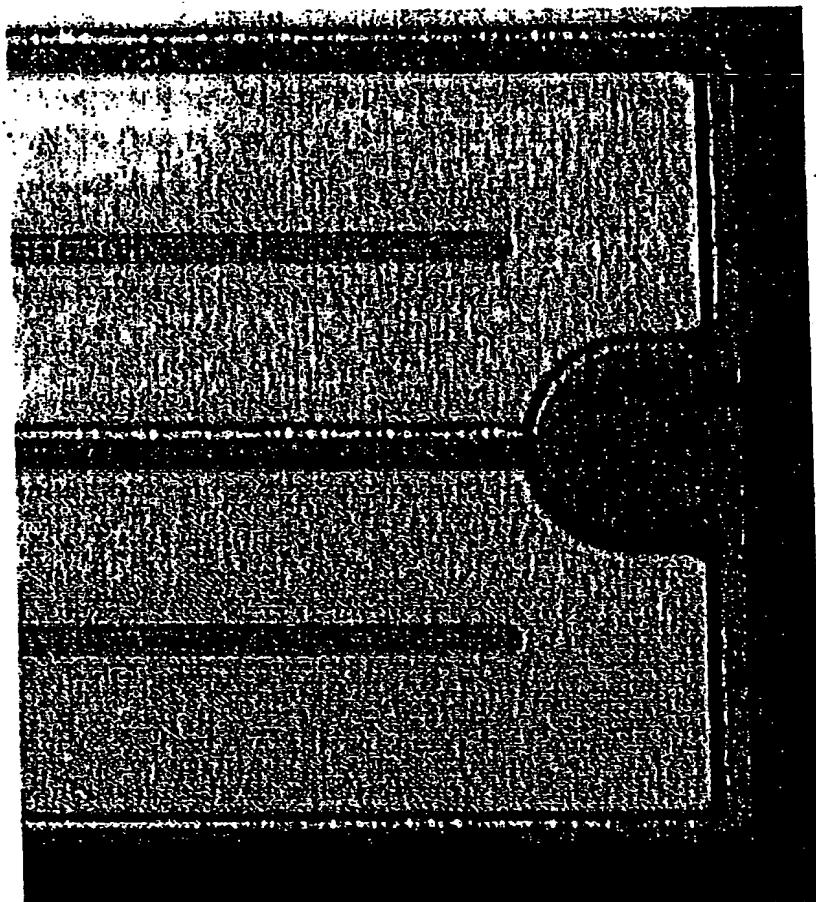


FIG. 16

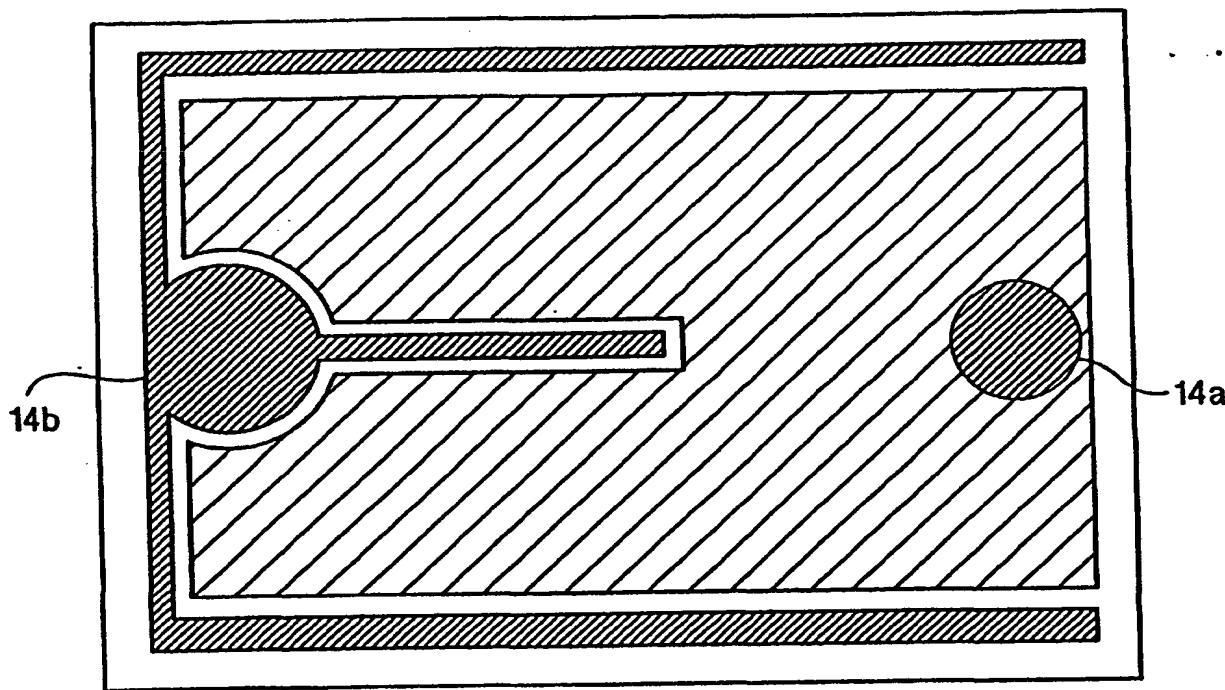


FIG. 17A

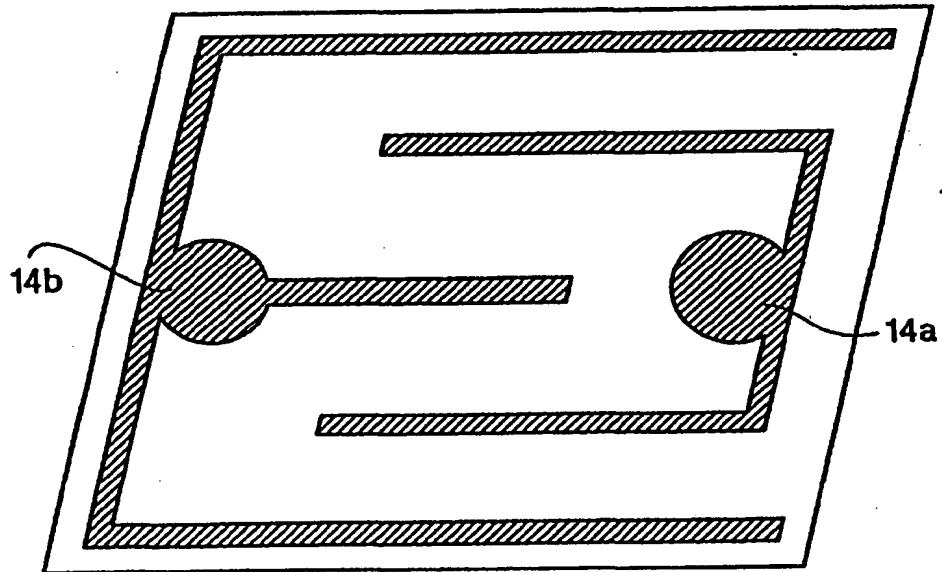


FIG. 17B

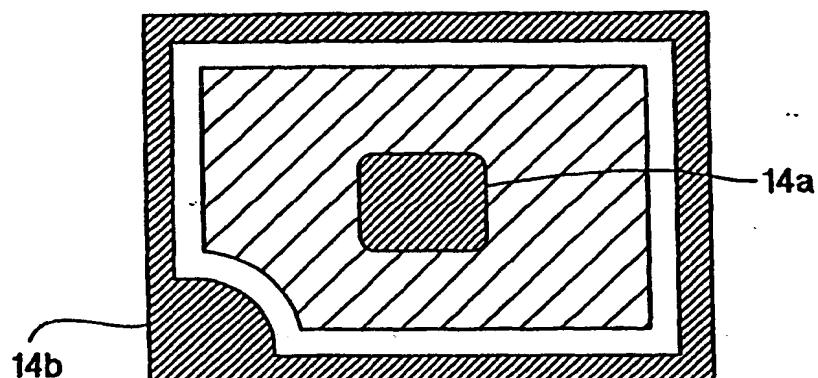


FIG. 18

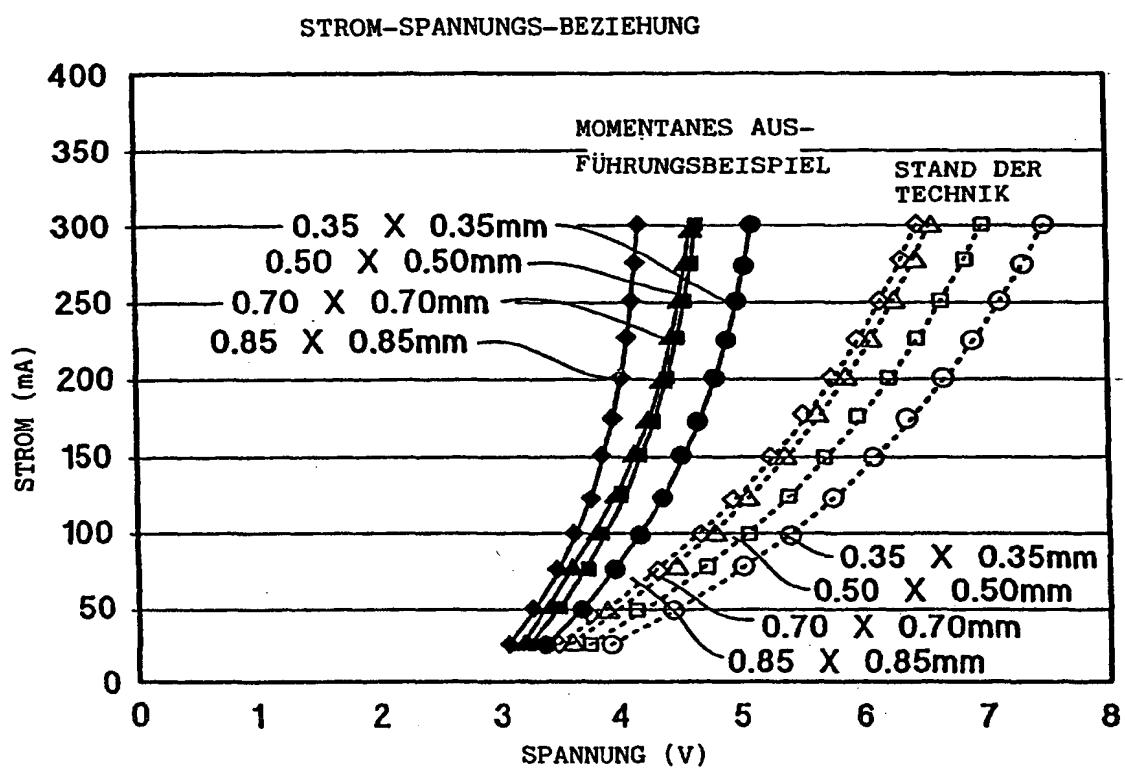


FIG. 19

BEZIEHUNGEN: OPTISCHE AUSGANGSLEISTUNG-STROM

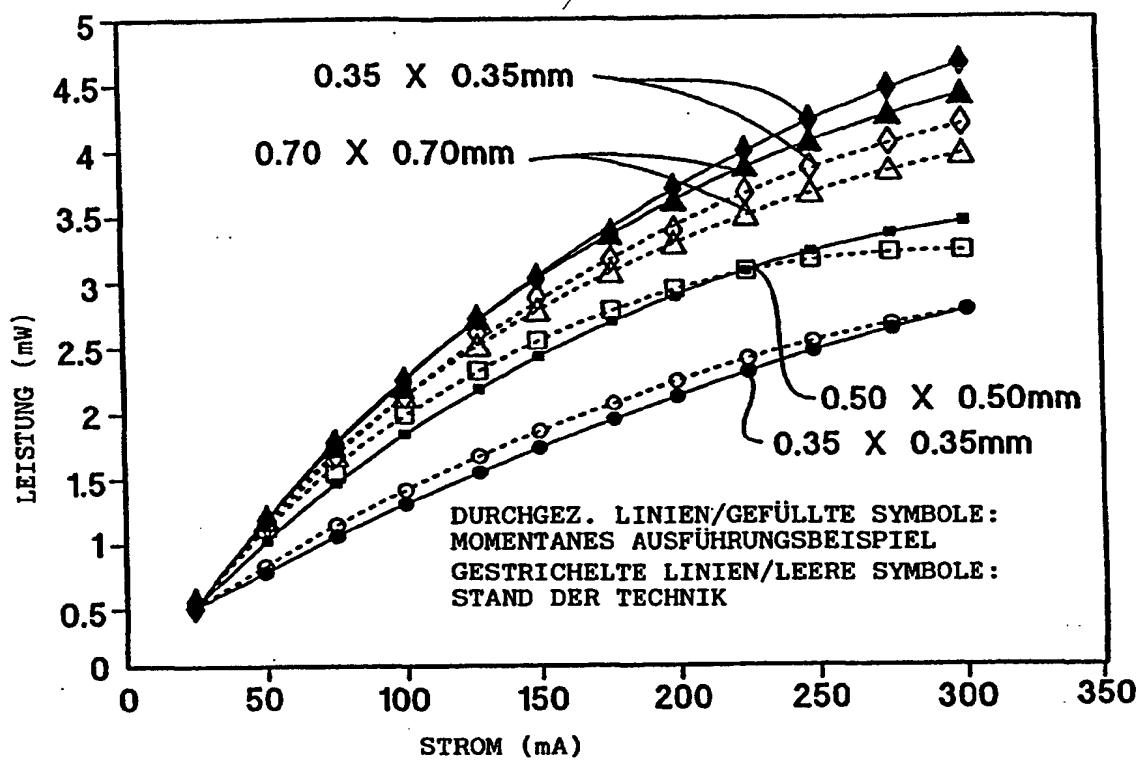


FIG. 20

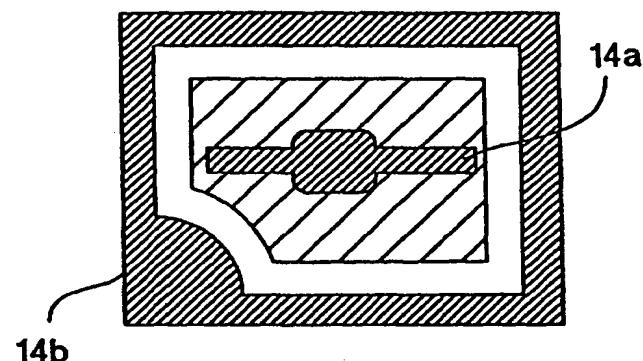


FIG. 21A

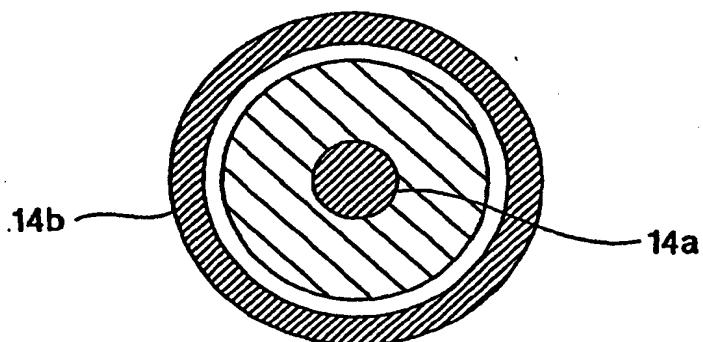


FIG. 21B

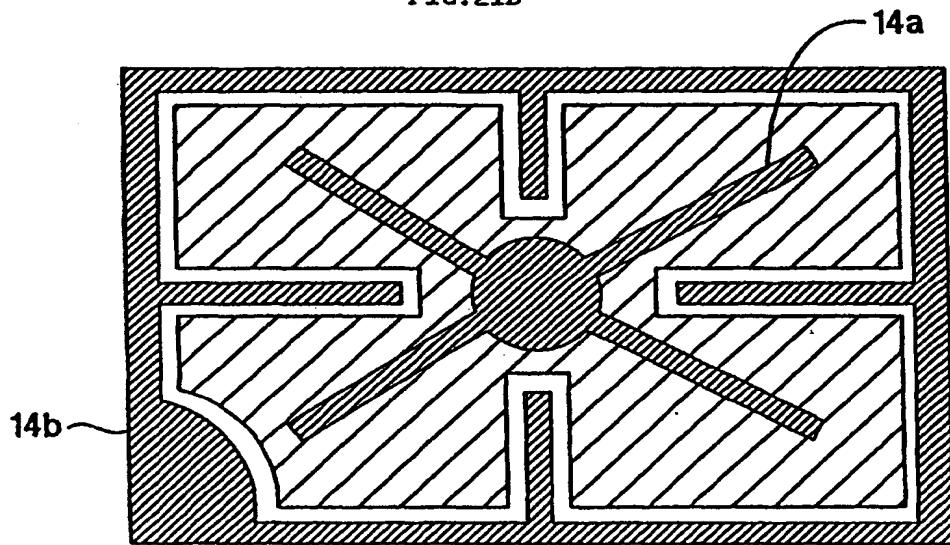
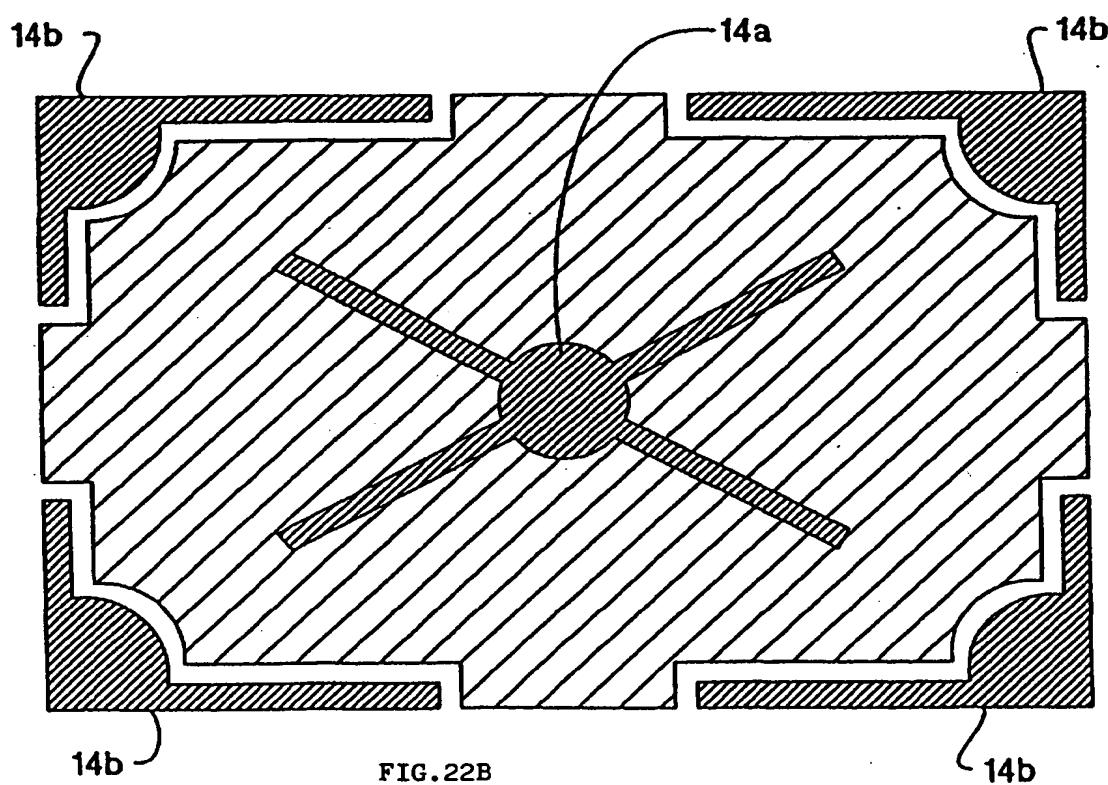
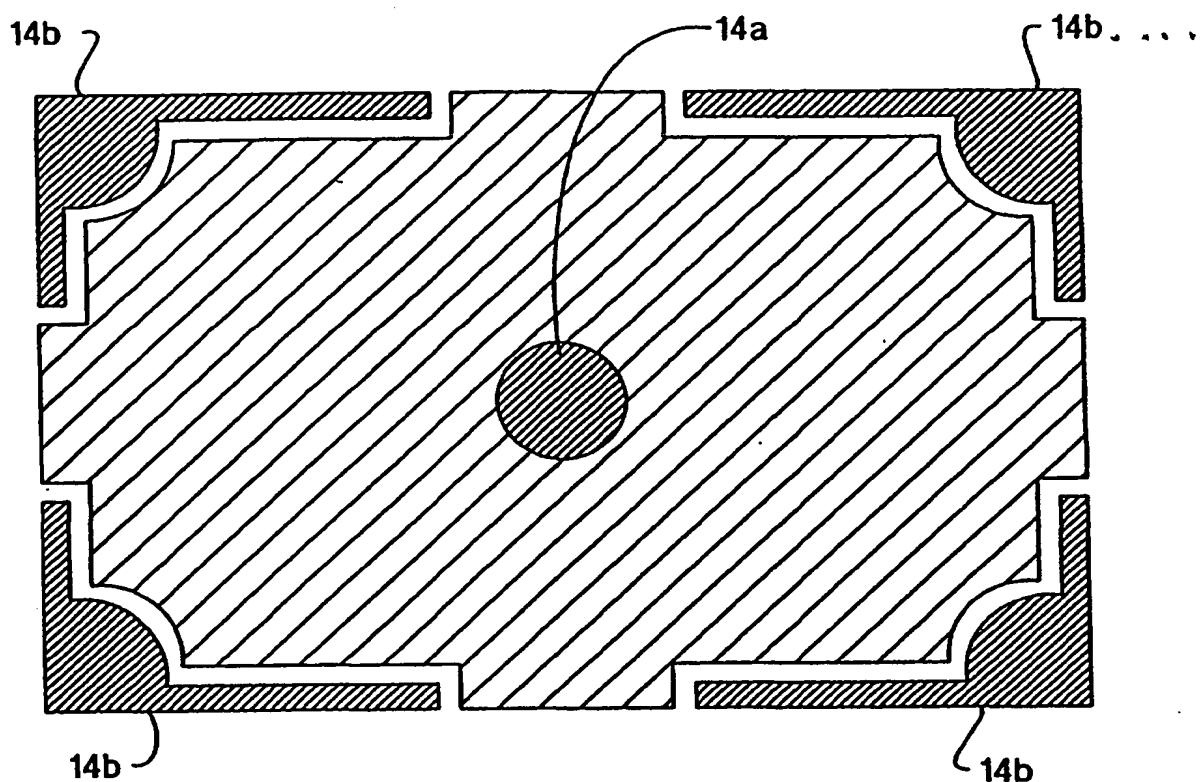


FIG. 21C



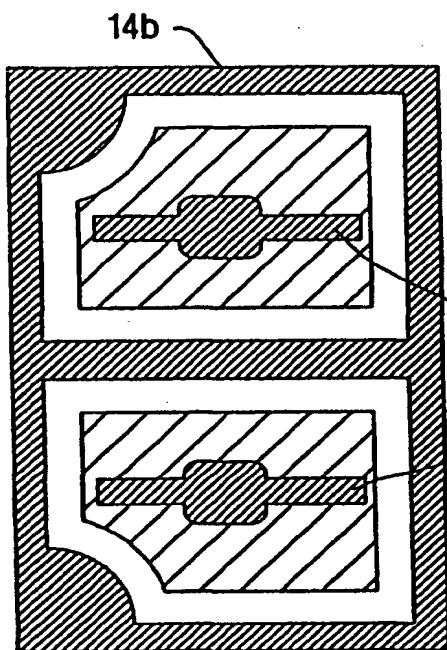


FIG. 23A

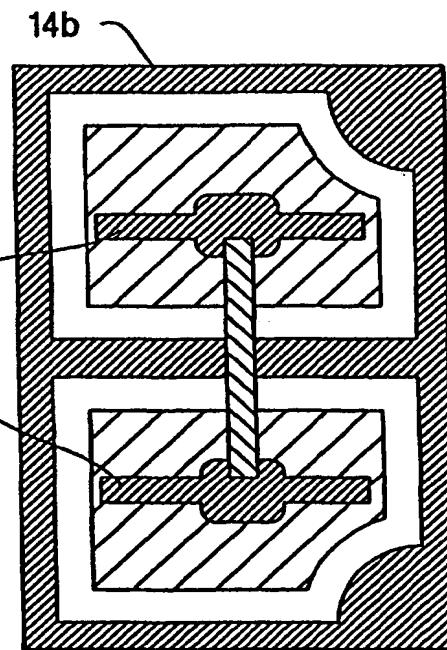


FIG. 23B

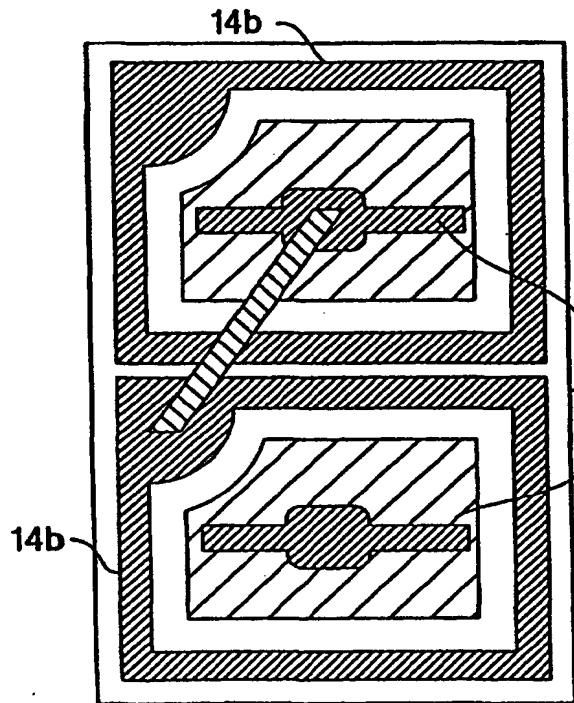


FIG. 23C

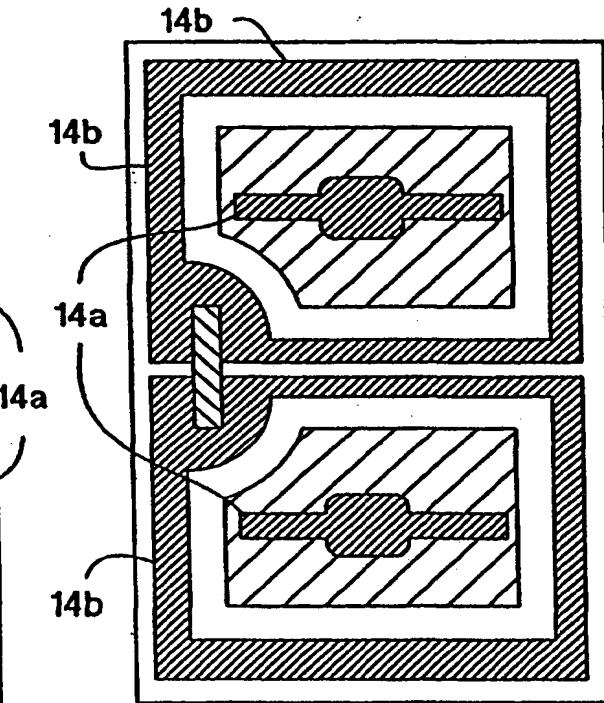


FIG. 23D

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)